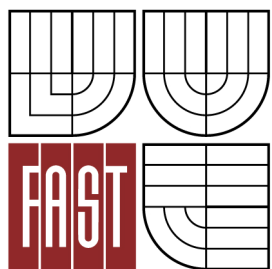




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH  
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## LÁVKA PRO PĚŠÍ PŘES ŘEKU LABE

PEDESTRIAN BRIDGE ACROSS THE RIVER LABE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. MARTIN LIBIGER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Martin Libiger
<b>Název</b>	Lávka pro pěší přes řeku Labe
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

Základní normy:

ČSN 736201 Projektování mostních objektů.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

## **Zásady pro vypracování**

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Ve výběru varianty se zaměřte na půdorysně zakřivenou mostní konstrukci.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu proveďte podle mezních stavů včetně řešení vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
Ing. Radim Nečas, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Předmětem práce byl návrh přemostění řeky Labe v Hradci Králové za účelem převedení cyklistické a pěší dopravy mezi břehy. Toto bylo navrženo ve třech variantách provedení. Pro podrobnější řešení byla vybrána varianta půdorysně zakřivené dvouramenné obloukové konstrukce.

Cílem práce bylo navrhnout a posoudit nosnou konstrukci lávky na základě mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti dle platných norem EC.

## **Klíčová slova**

Lávka pro pěší, samokotvená konstrukce, zatížení lávek chodci, zatížení mostů teplotou, předpjatá mostní konstrukce, železobetonová konstrukce, dynamická analýza lávky, mezní stavy použitelnosti, mezní stavy únosnosti.

## **Abstract**

The thesis deals with a design of the river Labe bridging in the city Hradec Kralove. In order to make option for cyclists and pedestrians to cross between shores. There were made three design variants. For detailed solution curved twin-arm arched structure was chosen.

The aim of the thesis was design and assessment of Bering strucutre of the footbridge according ultimate limit states and serviceability limit state given by valid Eurocodes.

## **Keywords**

Footbridge, self-anchored structure, pedestrians load, thermal load, prestressed bridge structure, reinforced concrete structure, footbridge dynamic analyses, serviceability limit state, ultimate limit state

### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Martin Libiger *Lávka pro pěší přes řeku Labe*. Brno, 2014. 64 s., 407 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových  
a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.01.2015

**Poděkování:**

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu, panu Ing. Radimovi Nečasovi, Ph.D, za odborné vedení, cenné rady, profesionální přístup a nemalou dávku trpělivosti při vedení mé diplomové práce.

Zároveň bych rád poděkoval svým kolegům a kamarádům, s jejichž pomocí našel každý problém velmi rychle své řešení.

Největší poděkování však patří mým rodičům, kteří mi umožnili studovat, vždy mě podporovali a důvěřovali mi.

## OBSAH

<b>1.</b>	<b>ÚVOD</b>	...	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>OBECNÉ INFORMACE</b>	...	<b>11</b>
2.1.	Vstupní technické požadavky	...	11
2.2.	Situování mostu	...	11
2.3.	Územní a geologické podmínky	...	13
<b>3.</b>	<b>VARIANTY NÁVRHU PŘEMOSTĚNÍ</b>	...	<b>14</b>
3.1.	Jednotné parametry návrhu	...	14
3.2.	Varianta A	...	15
3.3.	Varianta B	...	16
3.4.	Varianta C	...	17
3.5.	Porovnání variant	...	18
<b>4.</b>	<b>MATERIÁLY</b>	...	<b>19</b>
4.1.	Beton	...	19
4.2.	Betonářská výztuž	...	19
4.3.	Předpínací výztuž	...	20
<b>5.</b>	<b>TECHNICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCE</b>	...	<b>21</b>
5.1.	Parametry lávky	...	21
5.1.1.	<i>Návrh tvaru konstrukce</i>	...	21
5.1.2.	<i>Definice tvaru konstrukce</i>	...	22
5.2.	Způsob založení lávky	...	25
5.3.	Zatížení konstrukce	...	26
5.3.1.	<i>Stálá zatížení</i>	...	26
5.3.2.	<i>Užitná zatížení</i>	...	27
5.3.3.	<i>Klimatická zatížení</i>	...	29
5.3.4.	<i>Zatěžovací stavy</i>	...	29
5.3.5.	<i>Kombinace zatížení</i>	...	30



<b>5.4.</b>	<b>Numerický model</b>	...	32
5.4.1.	<i>Podélný směr</i>	...	32
5.4.2.	<i>Příčný směr</i>	...	39
<b>5.5.</b>	<b>Návrh vyztužení</b>	...	40
5.5.1.	<i>Návrh podélného předpětí</i>	...	40
5.5.2.	<i>Předpínací systém a jeho části</i>	...	41
5.5.3.	<i>Návrh betonářské výztuže mostovky</i>	...	42
5.5.4.	<i>Návrh betonářské výztuže opěry a kotevních oblastí</i>	...	43
<b>5.6.</b>	<b>Posouzení konstrukce</b>	...	45
5.6.1.	<i>Posouzení na mezní stav únosnosti</i>	...	45
5.6.2.	<i>Posouzení na mezní stav použitelnosti</i>	...	50
<b>5.7.</b>	<b>Dynamická analýza konstrukce</b>	...	52
<b>5.8.</b>	<b>Uložení a mostní vybavení</b>	...	56
5.8.1.	<i>Izolace</i>	...	56
5.8.2.	<i>Odvodnění</i>	...	56
5.8.3.	<i>Záchytný systém</i>	...	56
5.8.4.	<i>Osvětlení lávky</i>	...	57
<b>6.</b>	<b>POSTUP VÝSTAVBY</b>	...	58
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b>	...	59
<b>8.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	...	60
<b>9.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE</b>	...	61
<b>10.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	...	62
<b>11.</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	...	63
<b>12.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	...	64

## **1. ÚVOD**

Úkolem této práce je návrh přemostění řeky Labe v Hradci Králové. Přemostění je situováno poblíž Kongresového centra Aldis, mezi ulicemi Collinova a Smetanovo nábřeží. Lávka má přímo spojit tuto rekreačně-sportovní oblast se západním břehem řeky.

Lávka je navržena ve třech variantách, z nichž byla vybrána nejvýhodnější a dále zpracována. Jedná se o variantu dvouramenné obloukové konstrukce v půdorysném i výškovém oblouku. Nosná konstrukce navržena jako monolitická, podélně předpjatá, s proměnným průřezem. Zatížení uvažováno dle ČSN EN 1991 – 2: Zatížení mostů dopravou.

Cílem práce je návrh, výpočet a posouzení nosné konstrukce lávky podle teorie mezních stavů a zpracování výkresové dokumentace. Posouzení provedeno podle ČSN EN 1992. Některé návrhy se dále opírají o doporučení výrobce konkrétních použitých prvků. Práce je zaměřena na návrh lávky na oba mezní stavy s okrajovým řešením návaznosti na spodní stavbu.

## **2. OBECNÉ INFORMACE**

### **2.1. Vstupní technické požadavky**

Návrh trvalé lávky přes řeku Labe (pro rozpětí břehů cca 67 m), která funkčně spojí pěší a cyklistické stezky vedoucí po obou březích, při dodržení dobrých rozhledových podmínek. Šířka průchozího prostoru minimálně 4,5 m s ohledem na bezpečnost pěších i cyklistů na lávce. Lávku je nutné navrhnout s ohledem na pohodlnost chůze a jízdy na kole či vozíku. Nutno uvažovat s kompletní bezbariérovostí dle vyhlášky 398/2009 Sb. Při návrhu je dále nutno respektovat provoz plavidel na řece. Ze zprávy Státní plavební správy Děčín vyplývá, že se jedná o účelovou vodní komunikaci. Konstrukce lávky nesmí omezovat průtok v korytě řeky při velké vodě ( $Q_{100} = 231,60 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### **2.2. Situování mostu**

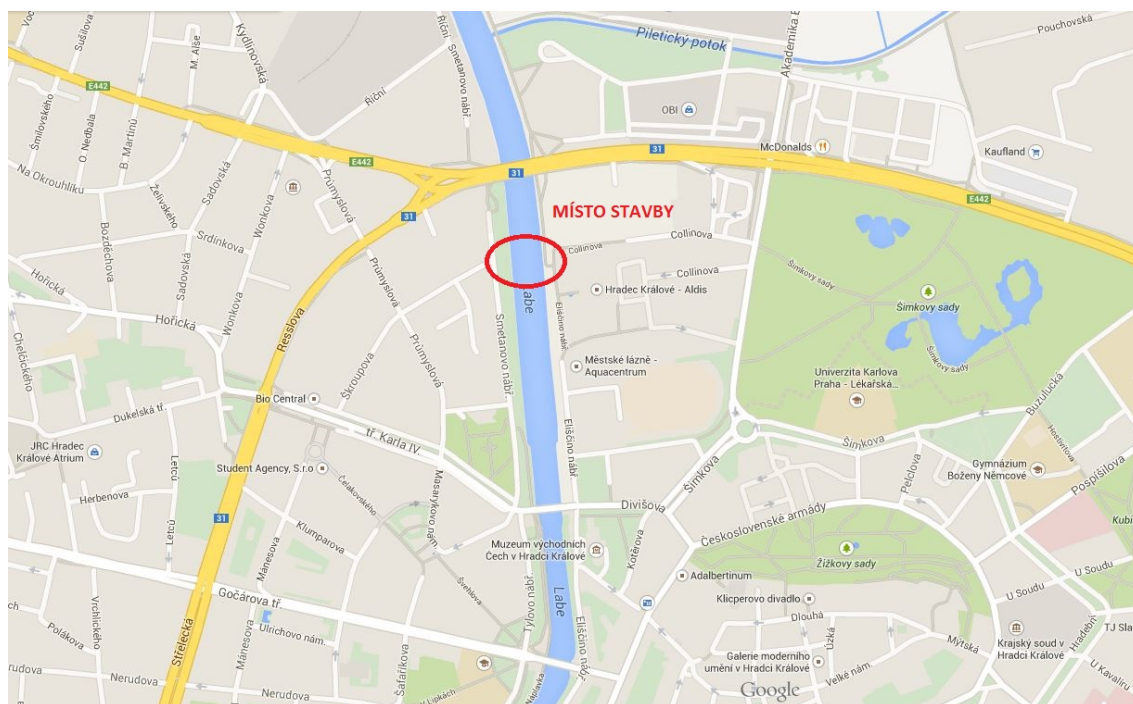
Lávka přemostňuje řeku Labe v severní části města Hradec Králové, poblíž Kongresového centra Aldis a přímo navazuje na ulice Collinova, Smetanovo nábřeží a Škroupova. Lávka má přímo spojit pěší a cyklistické stezky na obou březích.

Stavba spadá pod katastrální území obce Hradec Králové, kraj Východočeský. Oblast je součástí Gočárova regulačního plánu z let 1926 – 1928. Místo pro lávku se nachází v městské památkové zóně.

Přesná poloha křížení lávky a vodoteče v globálních souřadnicích:

WGS-84:      50°12'57.64"N;      15°49'38.48"E  
S-JTSK:      X= - 641321,79;      Y = - 1041596,27

*Pozn.: Výkresová dokumentace stavebně konstrukčního řešení je vztažena k polohopisnému systému S-JTSK a výškovému systému Balt po vyrovnání.*



Obr. 1 Lokalita stavby



Obr. 2 Situování stavby

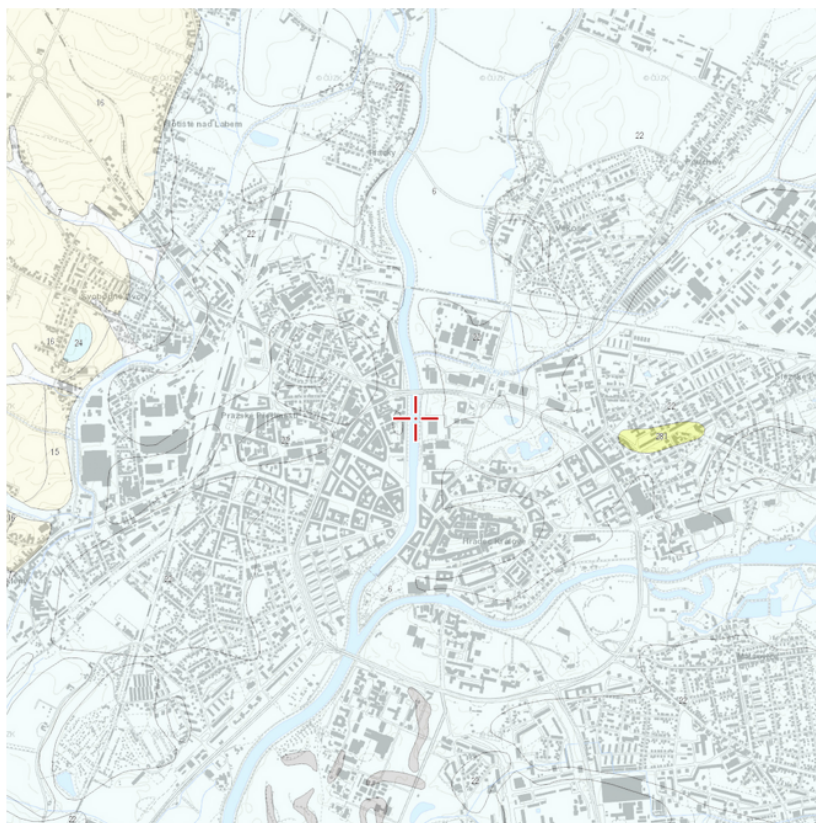


## 2.3. Územní a geologické podmínky

Dotčená oblast je součástí intravilánu města Hradec Králové a je rovinného charakteru. Okolí stavby tvoří obytná zástavba a rozsáhlý areál sportovně-relaxačního využití. Podél řeky není vyloučen výskyt podzemních vedení. Křížení a kolize s IS není předmětem této práce.

Z geologického hlediska spadá dotčené území do meliorační oblasti řeky Labe. Lokalita je součástí kvartérní oblasti Českého masivu. Místní geologie se skládá z nivních a smíšených sedimentů ležících na vrstvách navátých písků, sprašovitých hlín a spraší. Místa se vyskytují vrstvy slatin, rašelin či hnílokalů. Spodní vrstvy podloží tvoří vápnité jílovce, slínovce a vápnité prachovce.

Geotechnický průzkum nebyl proveden. Geologický profil, pro účel návrhu spodní stavby, byl vytvořen na základě geologických map dotčeného území.



LEGENDA:

### KENOZOIKUM

#### KVARTÉR

- nivní sediment [ID: 6]
- smíšený sediment [ID: 7]
- navátý písek [ID: 15]
- písek, štěrk [ID: 22]

Obr. 3 Geologické poměry v okolí stavby

### 3. VARIANTY NÁVRHU PŘEMOSTĚNÍ

#### 3.1. Jednotné parametry návrhu

Lávka je navržena jako spojnice pěších a cyklistických stezek vedoucích podél řeky Labe. Lávka přímo ústí na pravém břehu řeky na dálkovou cyklotrasu č. 2 – „Labská stezka“. Levobřežní stezka je součástí areálu Kongresového centra Aldis.

Požadavek minimální celkové průchozí šířky lávky je dán zadáním, jako šířka dostatečná pro bezpečný obousměrný pěší a cyklistický provoz. Tato hodnota je zadána jako 4,50 m. Minimální výška průchozího prostoru je stanovena normou ČSN 73 6201 na 2,50 m, s doporučující hodnotou 3,50 m. Návrh variant je tedy vázán na potřebnou šířku a výšku průchozího prostoru.

Výškové umístění lávky závisí na maximálním možném podélném sklonu nivelety, který je dán podmínkou bezbariérového pohybu po lávce, na tvaru koryta řeky, na minimální volné výšce ovlivněné vodní dopravou na toku a na průtokových hladinách.

Podmínka bezbariérového pohybu po lávce, dle *přílohy č. 1 vyhlášky 369/2001 Sb.*, je stanoven maximální podélný sklon 1:12 (8,33 %) na úseku kratším jak 200 m a maximální příčný sklon 2,0 %. Převáděná komunikace nesmí obsahovat místa s výškovými rozdíly většími než 20 mm. Na trase nesmí být umístěny objekty, jenž by snížili průchozí šířku pod 1,50 m.

Úsek vodního toku Labe od Opatovického jezu po Jaroměř se považuje dle *Vyhlášky č. 222/1995 Sb. za účelovou vodní cestu*. Dle *Přílohy č. 1 - 1A* této vyhlášky je dána minimální světlá vzdálenost 4,00 + rezerva 0,30, tedy 4,30 m mezi nejvyšší plavební hladinou a spodní hranou lávky. U obloukové lávky musí být tato výška dodržena minimálně ve dvou třetinách šířky plavební dráhy. Šířka plavební dráhy pro zájmový úsek je 5,05 m a ponor 1,8 – 2,2 m. Pro místo stavby byla maximální hloubka ponoru stanovena na 2,0 m. Plavební hladina je 2,00 m + bezpečnostní marže 0,30 m, tedy 2,30 m. Nejvyšší plavební hladina jev místě stavby ve výšce **229,625 m.n.m.**

Průtokové hladiny řeky:

Návrhová hladina  $NH = Q_{100} = 231,60 \text{ m.n.m.}$

Kontrolní návrhová hladina  $KNH = 232,24 \text{ m.n.m.}$

Minimální volná výška nad KPH = 0,5 m

Minimální volná výška nad NH = 1,0 m

### **3.2. Varianta A**

Jedná se o variantu přemostění pomocí dvou symetrických, půdorysně i výškově zakřivených, oblouků tvořících uzavřený prstenec vetknutý do masivních opěr. Tvar konstrukce definuje niveleta mostu. Půdorysně jde o kružnicový oblouk o teoretické délce 74,83 m s poloměrem 34,50 m. Výškově je niveleta definována jako přímka v dostředném stoupání se sklonem 8,00% s vypuklým lomem ve vrcholu. Výškový lom je tvořen parabolickým obloukem  $2^\circ$  o délce tečny 31,515 m a poloměrem oskulační kružnice ve vrcholu 400 m. Z tohoto vyplývá celkové výškové vzepětí nivelety 1,75 m.

Mostovka má výškově proměnný průřez, který je v místě vetknutí tvořen masivním betonovým blokem o výšce 3,025 m. Výška průřezu klesá směrem do středu rozpětí a přechází postupně do komorového průřezu, s šířkou stěn a horní desky 0,170 m a dále do tenké desky o téže tloušťce. Deska je po okrajích vyztužena podélnými žebry. Nosník je téměř po celé délce vylehčen obloukovým výřezem na spodní hraně.

Šířka dopravního prostoru na jednom rameni lávky je konstantní po celé délce a činí 2,50. Výška dopravního prostoru není konstrukcí nijak omezena. Celková šířka ramene lávky je ve vrcholu každého příčného řezu 3,80 m a směrem ke spodní hraně klesá. Na vnitřní hraně oblouku je umístěno zábradlí, tvořené masivními ocelovými stojkami, ve kterých vede externí kabel předpětí.

Z konstrukčního hlediska se jedná o monolitickou podélně předpjatou lávku v půdorysném i výškovém oblouku, vetknutou do masivních opěr, uložených na skupině vrtaných pilot. Toto řešení samokotvené konstrukce je vhodné pro málo únosné podloží nacházející se v místě stavby.

Vzhledem ke statickému řešení interakce mostovky a spodní stavby, složitému tvaru bednění konstrukce a relativně malé výšce nad terénem, je nejvýhodnějším způsobem výstavby betonáž na pevné skruži.

Lávka je doplněna o zábradlí do výšky 1300 mm nad nejbližší přilehlý povrch dopravního prostoru. Zábradlí je umístěno i na opěře a to po celé její hraně rovnoběžné s řekou.

### **3.3. Varianta B**

Druhou variantou přemostění řeky je půdorysně přímá oblouková lávka, tvořená dvojicí ocelových komorových nosníků s proměnným průřezem, vetknutých do masivních opěr. Na těchto nosnících je uložena tenká spřažená deska. Půdorysné rozpětí mostovky je 64,0 m. Niveleta je definována jako přímka v dostředném stoupání se sklonem 8,0 % s vypouklým lomem ve středu rozpětí. Výškový lom je tvořen kružnicovým obloukem o poloměru 140 m.

Ocelové uzavřené nosníky mají konstantní šířku 0,5 m a po délce proměnnou výšku od 1,50 do 0,25 m. Betonová deska je konstantního průřezu s šířkou 5,0 m a minimální výškou 0,18 m se sklonem 2,0 %.

Šířka dopravního prostoru na lávce je po celé délce 4,50. Výška dopravního prostoru není konstrukcí nijak omezena. Při obou okrajích je umístěno ocelové zábradlí se svislou výplní, které navazuje na zábradlí na opěře a křídle. Výška zábradlí na lávce je 1300 mm.

Konstrukčně jde o spřaženou lávku s ocelovými obloukovými nosníky a tenkou podélně předpjatou betonovou deskou. Takto tvořená mostovka je vetknuta do krajních opěr, uložených na skupině vrtaných pilot. Toto řešení samokotvené konstrukce je vhodné pro málo únosné podloží nacházející se v místě stavby. Vzhledem k menšímu rozměru opěr je nutná větší dimenze hlubinných pilot.



Předpokládá se fázovaná výstavba, kdy budou do vybetonovaných opěr vetknuty ocelové nosníky a na nich dále vytvořena spřažená betonová deska. Tyto oblouky budou po dobu výstavby montážně podepřeny.

### **3.4. Varianta C**

Třetí varianta byla navržena jako visutá lávka s obloukovou mostovkou a šikmými pilony o výšce 11 m. Půdorysně přímá konstrukce o délce 57,0 m je navržena v dostředném stoupání 6,5 % s výškovým zakružovacím obloukem s poloměrem 250 m. Mostovka je vynášena dvojicí nosných lan, zakotvených v opěrách do kotevních bloků. Ve středu rozpětí se lano téměř dotýká mostovky. Po délce je mostovka k lanu připojena závěsnými tyčemi po vzdálenostech 2,0 m.

Pilony mají proměnný průřez, kdy ve vrcholu je jejich rozměr 1,0 x 1,0 m a směrem k patě jejich rozměr rovnoběžný s mostovkou narůstá. Pilon je v téže směru nakloněn směrem k řece pod úhlem cca 57°. Mostovka je tvořena betonovou deskou o nejmenší tloušťce 0,18 m, vyztuženou podélně předepnutými žebry s výškou 500 mm. Šířka mostovky je 5,9 m a má jednotný průřez po celé délce. Nosné lano se za pilony výrazně rozbíhá do stran a je vetknuto do kotevních bloků, jež jsou součástí opěry.

Šířka dopravního prostoru na lávce je po celé délce 4,50. Výška dopravního prostoru není konstrukcí nijak omezena, jelikož závěsy se rozbíhají pod mírným sklonem vně mostovku. Při obou okrajích je umístěno ocelové zábradlí, které je ukončeno v místě pilonu. Na opěře je navrženo obdobné zábradlí, které na ní vytváří dopravně zklidněnou plochu s vyhlídkou na řeku. Výška zábradlí je s ohledem na cyklistický provoz navržena 1300 mm.

Tento návrh je opět pojat jako samokotvená konstrukce, kterou tvoří tuhé spojení pilot, mostovky a kotevního bloku lan, pomocí masivní železobetonové opěry. Založení se předpokládá na skupině velkopřůměrových pilot, jejichž počet a rozmístění byl odhadnut.

### 3.5. Posouzení variant

Při výběru optimální varianty bylo přihlédnuto k několika kritériím. Především se porovnávala technologická náročnost, možnosti provádění, estetický vzhled konstrukce a její dopad na místní ekosystém, při současném splnění všech podmínek a požadavků zadavatele.

Pro volbu **varianty A** hovořili především výhody plynoucí z její jednoduchosti, která nebude narušovat ráz krajiny a svým tvarem vyzdvihne sportovně – rekreační význam místa stavby, jež leží v blízkosti místního atletického oválu. Další velkou výhodou je prostorová nenáročnost a absence konstrukcí, jako jsou pilony nebo nájezdové rampy, jejichž výstavba by vedla k neúměrnému zásahu do přilehlého stromořadí. Absence ramp navíc umožňuje jednoduché a plynulé spojení obou břehů.

Výhody plynoucí z **varianty B** jsou obdobné jako u varianty A, jelikož se jedná o podobnou konstrukci. Velkou výhodou je jednoduchá montáž konstrukce. Nevýhodou tohoto řešení je přímé narušení plynulosti dopravy na obou stezkách, které jsou přerušeny konstrukcí opěry. Vzhledově působí konstrukce příliš jednoduše a nezajímavě.

Pro **variantu C** hovoří především její estetická stránka při současném plynulém převedení dopravy. Tato varianta vyžaduje nejméně terénních úprav. Zdánlivě se jedná o nejvýhodnější variantu. Vysoké pilony lávky ale narušují celistvost stromořadí podél řeky, jež je dominantou této oblasti. Závěsy by pak mohly ohrožovat migraci ptactva (především labutí), která je v blízkosti lávky velmi frekventovaná.

Po porovnání všech vyhotovených i dalších teoretických variant byla jako nejvhodnější zvolena **varianta A**. Kritériem pro hodnocení bylo splnění technických požadavků, estetických a ekologických kritérií a technologické náročnosti výstavby. Návrh přemostění je tedy proveden pomocí dvouramenné půdorysně zakřivené lávky, přímo vetknuté do opěr.

## **4. MATERIÁLY**

### **4.1. Beton**

Nosná konstrukce obou ramen lávky je navržena z betonu **C 40/50**, při třídě prostředí XC4, XD1 a XF3. Opěry budou provedeny z betonu C 30/37. Pro návrh pilot byl zvolen konstrukční beton pevnostní třídy C 25/30. Návrh betonové směsi, požadavky na stupeň zhutnění a příslušné zkoušky (Vebe, sednutí kužele nebo rozlití), poměr a druh přísad a příměsí proběhne dle bližších požadavků technologa. Maximální uvažovaná frakce kameniva do konstrukce  $d_g = 16$  mm. Zhutňování ponornými vysokofrekvenčními vibrátory průměru 50 mm.

Před zahájením betonáže z každého nového domíchávače se provede polní zkouška sednutím kužele. Z každého desátého domíchávače budou odebrány vzorky pro pozdější zkoušky pevností betonu. Zhutňování čerstvé směsi provedeno pomocí ponorných vibrátorů (mezi výztužemi u povrchu vynechány potřebné mezery min 80 mm). Konstrukce bude ošetřována po dobu sedmi dní.

Orientační spotřeba betonu:

- Na betonáž mostovek bude zapotřebí celkem cca 215 m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
- Na betonáž obou opěr bude zapotřebí celkem cca 705 m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
- Na betonáž 24 pilot bude zapotřebí celkem cca 507 m<sup>3</sup> čerstvého betonu.

### **4.2. Betonářská výztuž**

Do všech železobetonových prvků bude použita betonářská výztuž třídy **B 500 B**. V konstrukci lávky se vyskytují profily  $\phi 12$ , 14, 16, 18, 20, 22 a 32 mm.

Ukládání výztuže provedeno na betonové distančníky:

- Výztuž u vnějšího okraje mostovky - Drufa - motýl s drátem (45/55/60)
- Výztuž na vnitřní hraně komory - Drufa - motýl s drátem (35/40/50)

- Výztuž v opěře - Drufa - motýl s drátem (45/55/60) – na vyrovnávací beton

Spojování výztuží bude provedeno vyvazováním.

Na vyztužení mostovek a opěr je zapotřebí přibližně 86,7 t výztuže R 10 505.



Obr. 4 Ukázka použitých distančníků – Drufa

### 4.3. Předpínací výztuž

K předepnutí konstrukce budou použita sedmi-drátová lana **Y 1860 S7 – 15,2-A**.

Lana budou primárně chráněna cementovou injektáží a plastovým kanálkem. Lana externího kabelu, vedeného v zábradlí, budou chráněna cementovou injektáží a ocelovou ochrannou trubicí.

Trasování vnitřních kanálků bude zajištěno pomocí zavěšených mřížek. Externí kabel je veden v zábradlí pevně definovaného tvaru.

Pro definitivní předepnutí obou ramen lávky je zapotřebí celkem 11 807 m předpínacího lana o celkové váze 12,98t.

## **5. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCE**

### **5.1. Parametry lávky**

#### **5.1.1. Návrh tvaru konstrukce**

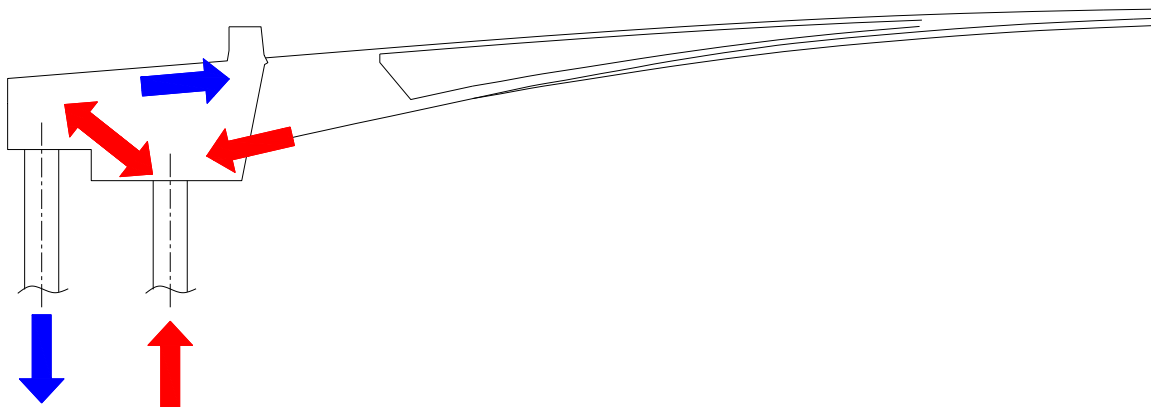
Při hledání vhodného tvaru konstrukce se vycházelo především z požadavků na průchozí prostor na lávce, její bezbariérové využití a plavební prostor pod ní. Konečný tvar je tedy kompromisem mezi minimálním vzepětím, potřebným pro umožnění říčního provozu, maximálním sklonem nivelety umožňujícím bezbariérový pohyb po lávce a statickým působením oblouku. Viz kapitola 3.1. *Parametry návrhu*.

V první fázi hledání geometrie byl navržen předběžný tvar rozvinutého podélného řezu, jehož proměnnou hmotou byl zatížen přímý prutový model. Momentový obrazec posloužil jako tvar střednice pro další stupeň návrhu. Toto řešení se však ukázalo jako nevhodné, jelikož sklon nivelety na okrajích mostovky vysoce překračoval povolené limity. Volba tvaru konstrukce na základě tlakové čáry oblouku se tedy neprokázala jako vhodný způsob řešení.

Dalším krokem bylo vytvarování nivelety, podle jejího maximálního možného sklonu tak, aby zůstal dostatečný plavební prostor pod lávkou. Pro toto řešení bylo rovnou využito krajní hodnoty podélného sklonu, tedy 8,00%. Výškový lom byl proveden pod několika poloměry zakřivení - 200,300,400,500 a 600 m, z nichž byl zvolen vizuálně nejzajímavější.

Půdorysné řešení lávky vycházelo především z dostatečné délky oblouku v návaznosti na jeho výškové řešení. Na základě vhodného umístění opěr na březích byla stanovena nutná teoretická délka přemostění 61,0 m. Poté byl hledán takový vhodný poloměr kružnicového oblouku, který překoná toto rozpětí, bude působit esteticky a jeho délka bude dostatečná pro splnění požadavků výškového řešení.

Návrh spodní stavby se odvíjel od nepříliš vhodného podloží pro zakládání. Jako optimální bylo zvoleno řešení hlubinným založením při vytvoření samokotvené konstrukce.

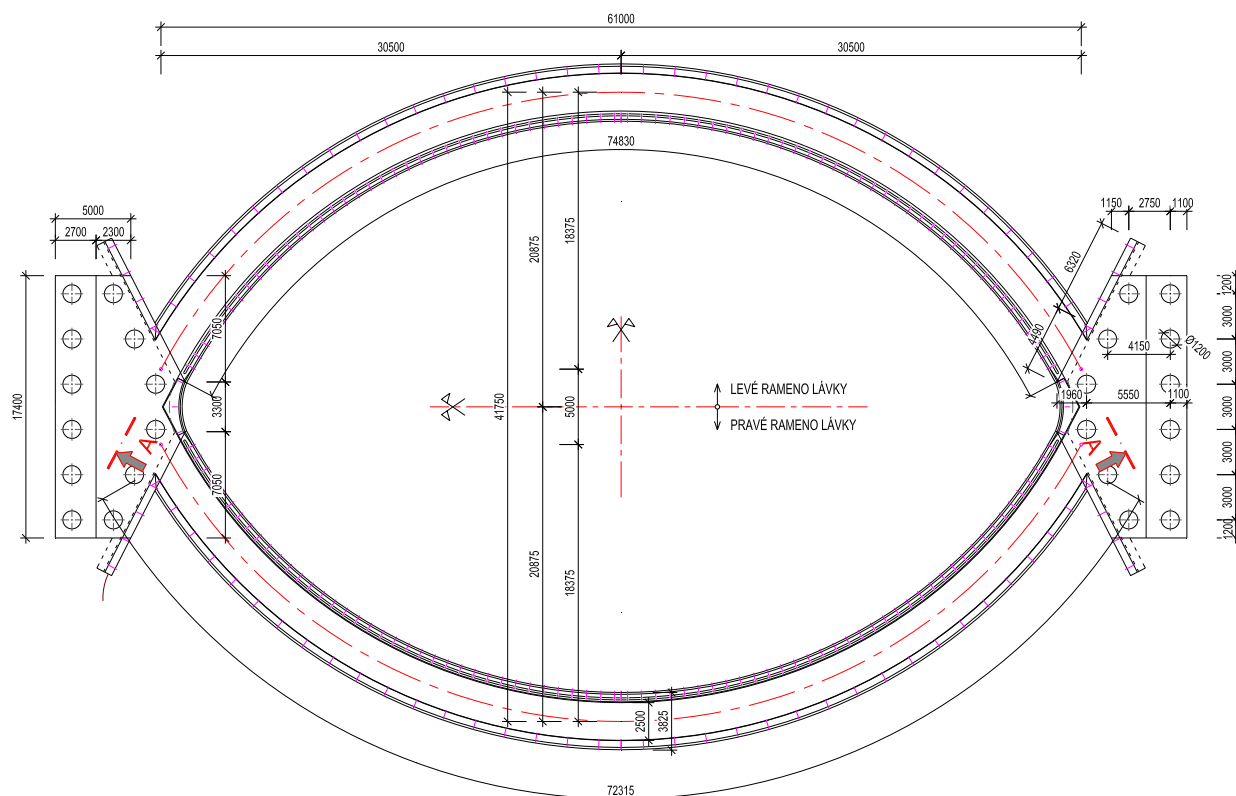


Obr. 5      *Statické působení konstrukce*

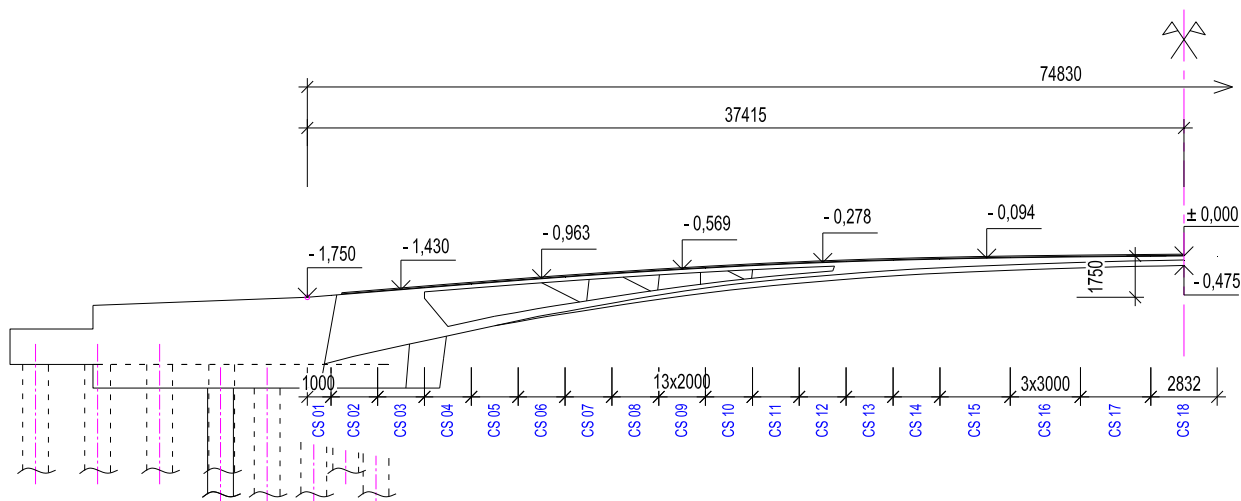
### 5.1.2. Definice tvaru konstrukce

Výsledný tvar nivelety je půdorysný kružnicový oblouk o poloměru 34,50 m, délce 74,83 m a přímkou vzdáleností mezi krajními body 61,0 m. Výškově je niveleta definována jako přímka v dostředném stoupání se sklonem 8,00% s vypuklým lomem ve vrcholu. Výškový lom je tvořen parabolickým obloukem  $2^\circ$  o délce tečny 31,515 m a poloměrem oskulační kružnice ve vrcholu 400 m. Z tohoto vyplývá celkové výškové vzepětí nivelety 1,75 m.

Mostovka má výrazně výškově proměnný průřez, který je v místě vetknutí tvořen masivním betonovým blokem o výšce 3,025 m, jehož výška klesá směrem do středu rozpětí a přechází postupně do komorového průřezu, s šířkou stěn a horní desky 0,170 m a dále do tenké desky o celkové tloušťce 0,170 m, která je vyztužena podélnými žebry. Mostovka je téměř po celé délce vylehčena obloukovým výřezem na spodní hraně, který má pevně daný poloměr 2,50 m.

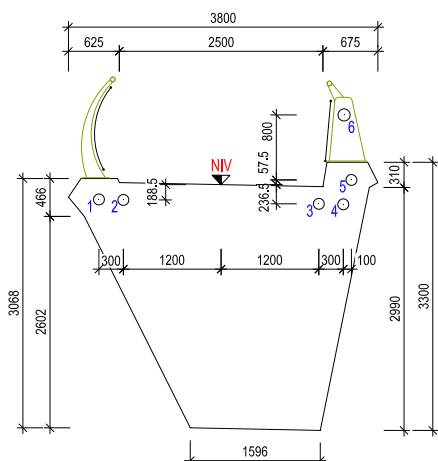


Obr. 6 Půdorysné rozměry lávky

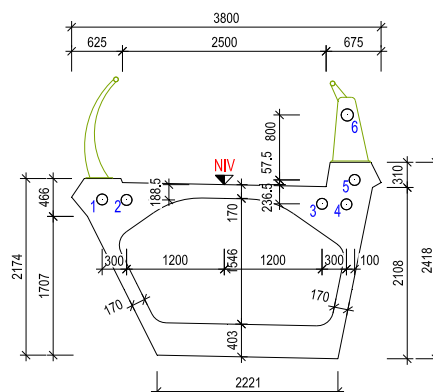


Obr. 7      Rozvinutý řez polovinou ramene lávky

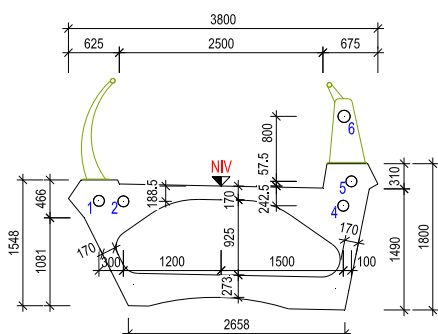
CS01



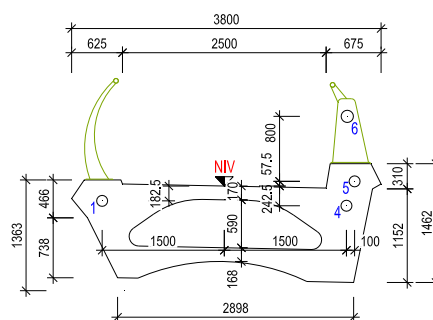
CS04



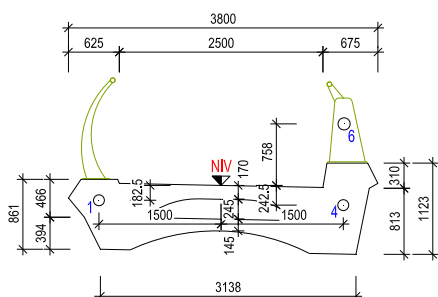
CS07



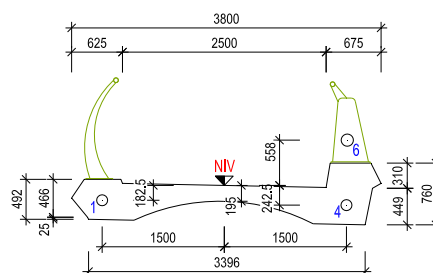
CS09



CS12



CS17

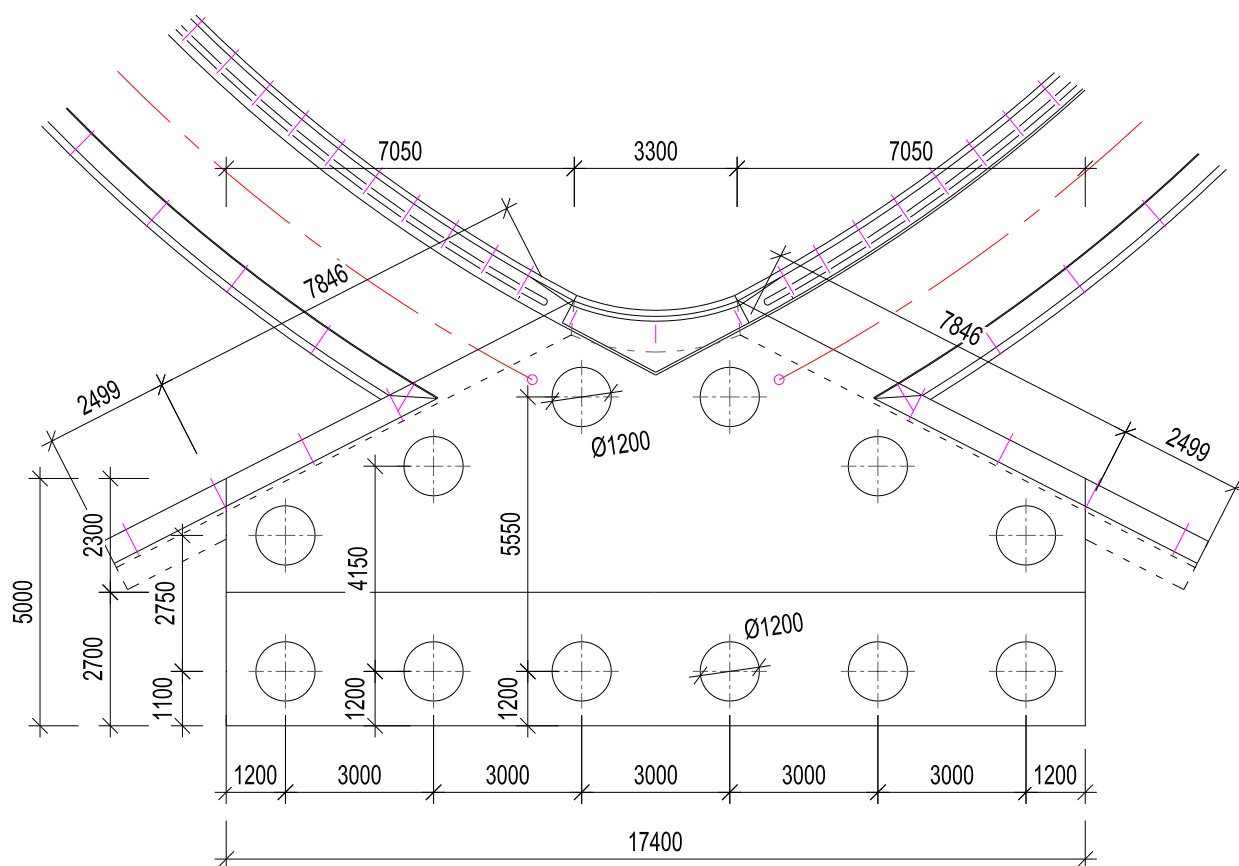


Obr. 8 Tvary příčných řezů



## 5.2. Způsob založení lávky

Lávka je navržena jako samokotvený systém s teoretickou vzpěro-táhlovou soustavou v masivní opěře s dvouřadím pilot. Opěra o rozměrech 8,4 x 17,4m, je uložena na skupině dvanácti pilot o průměru 1,2 m s délkou 14,0m. Piloty vynášejí dvojici sil, která reprezentuje ohybový moment vzniklý vetknutím mostovky do opěry. Přední řada pilot je tudíž tlačená, zadní řada tažená. Piloty jsou navíc namáhány ohybovým momentem od vodorovné klenbové síly. Ohybová tuhost pilot, respektive jejich poddajnost v ohybu, umožňuje posun stavby v podélném směru, čímž se zvyšuje účinek předpětí. Mostovka a opěra tvoří integrální systém, jež umožňuje přenášet celé zatížení stavby do pilot a minimalizuje nároky na vodorovnou únosnost základové zeminy. Piloty navrženy jako CFA s vyztužením pomocí armokošů při provázání s výztuží opěry. Součástí posudků je i výpočet tažené a tlačené piloty dle ČSN EN 1997 - 1.



Obr. 9 Tvar opěry a rozmístění pilot

### **5.3. Zatížení konstrukce**

Lávka je zatížena dle ČSN EN 1991-1 a ČSN EN 1991-2. Na základě pokynů vedoucího byly z proměnných zatížení uvažovány jen užité zatížení chodci a rovnoměrné zatížení teplotou. Zatížení load modelem LM4, obslužným vozidlem a zatížení větrem nejsou součástí řešení.

#### **5.3.1. Stálá zatížení**

Vlastní tíha byla definována v numerickém modelu konstrukce dle zadaných příčných řezů. Pro výpočet vlastní tíhy byla uvažována tíha železového betonu  $25 \text{ kNm}^{-3}$  a konstantní gravitační zrychlení  $9,81 \text{ ms}^{-2}$ .

Do vlastní tíhy byly započítány i prvky nosného zábradlí na vnitřní straně oblouku. Zanedbána byla tíha nenosného zábradlí a materiály tvořící bednění komorové části lávky. Vnitřní bednění komory tvoří v její širší části lehká výdřeva nesoucí plošné bednění a v tenčí části profilované desky z expandovaného polystyrenu.

Předpětí vneseno do výpočetního modelu jako vynucené zkrácení přepínacích lan. Předpětí je uvažováno jako soudržné ve všech kabelech. Předpínací síla kabelů uvnitř mostovky uvažována konstantní po celé délce. V zábradelním kabelu dochází ke snížení předpínací síly vlivem poddajnosti zábradelních sloupků. Tato poddajnost je uvažována ve výpočtovém modelu. Zábradelní kabel je pevně uchycen v místě kotvení, které je součástí opěry.

### 5.3.2. Užitná zatížení

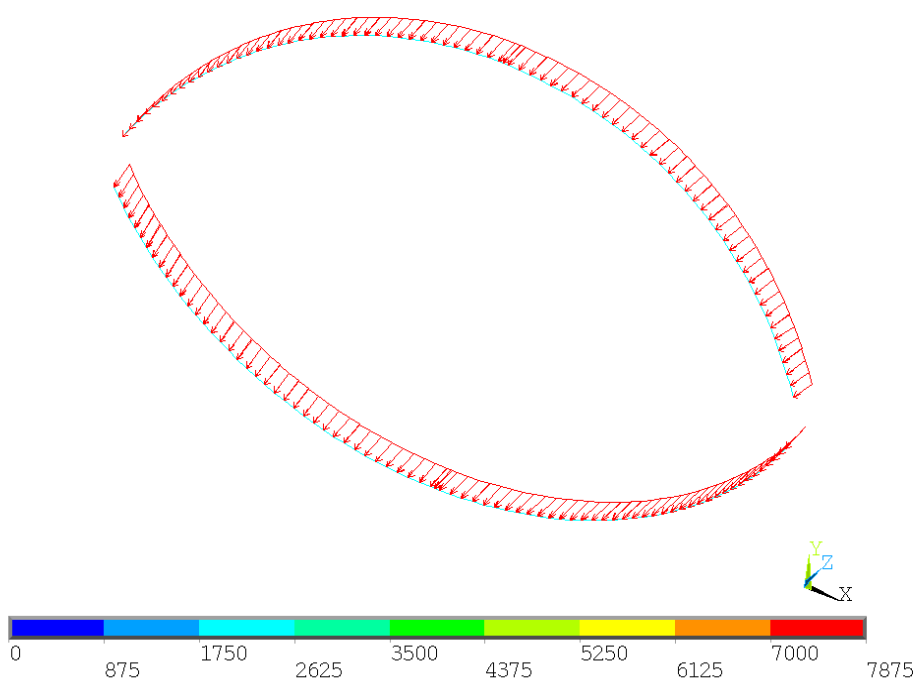
Užitné rovnoměrné zatížení chodci (sestava zatížení gr1) uvažováno ve třech zatěžovacích stavech:

- a) Zatížení umístěno po celém rozpětí lávky
  - intenzita zatížení  $3,15 \text{ kNm}^{-2}$
  - zatěžovací délka  $74,80 \text{ m}$
- b) Zatížení na polovině rozpětí lávky
  - intenzita zatížení  $3,80 \text{ kNm}^{-2}$
  - zatěžovací délka  $37,40 \text{ m}$
- c) Zatížení ve středu pole lávky
  - intenzita zatížení  $4,20 \text{ kNm}^{-2}$
  - zatěžovací délka  $25,00 \text{ m}$

ad a)

ELEMENTS  
 PRES-NORM

**ANSYS**  
 PLOT NO. 1



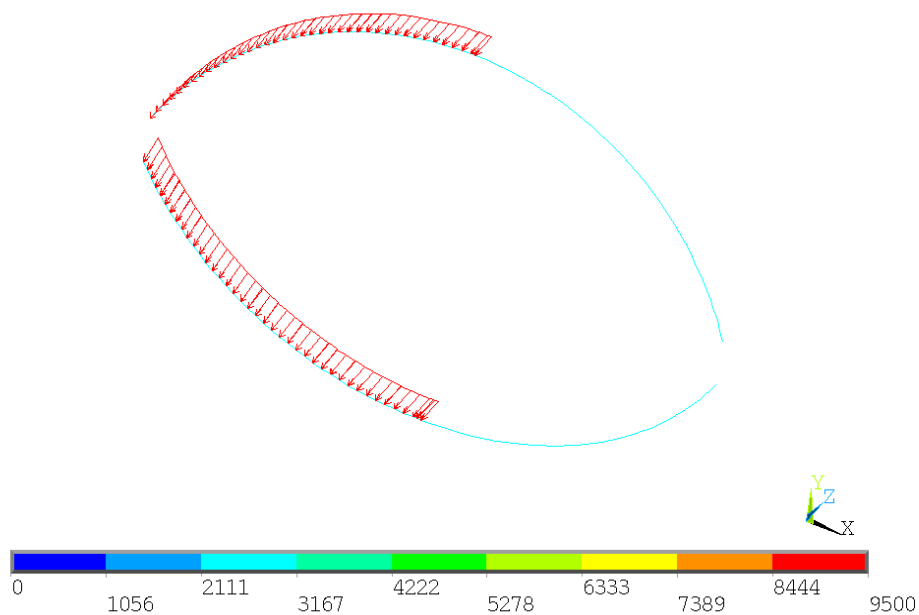
Obr. 10 Rozmístění užitého zatížení na lávce

ad b)

ELEMENTS
   
 PRES-NORM

**ANSYS**

PLOT NO. 1

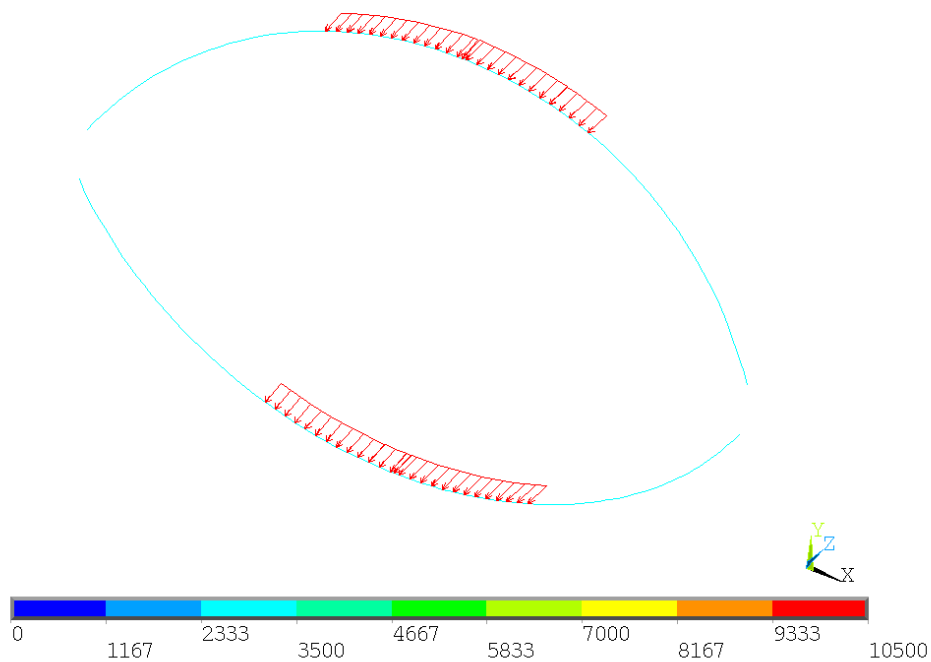


ad c)

ELEMENTS
   
 PRES-NORM

**ANSYS**

PLOT NO. 1



Obr. 10 - pokračování

### 5.3.3. Klimatická zatížení

Lokalita stavby - Hradec Králové

Pro výpočet uvažována pouze rovnoměrná složka zatížení teplotou  $\Delta T_u$ , vztažená ke srovnávací teplotě + 10°C a upravená pro *typ konstrukce 3*.

Maximální teplota vzduchu ve stínu v dané lokalitě $T_{\max}$	38,1 až <b>40,0 °C</b>
Minimální teplota vzduchu ve stínu v dané lokalitě $T_{\min}$	-30,1 až - <b>32,0 °C</b>
Rovnoměrné složky teploty: 3. typ konstrukce	
$T_{e,\max}$	$40,0 + 1,5 = \mathbf{41,5 °C}$
$T_{e,\min}$	$- 32,0 + 8,0 = \mathbf{24,0 °C}$

Přepočet ke srovnávací teplotě 10 °C:

Konstrukce je zatížena účinky rovnoměrné teploty	<b>+<math>T_e</math> = 31,5 °C</b>
	<b>-<math>T_e</math> = 34,0 °C</b>

### 5.3.4. Zatěžovací stavy

ZS0	vlastní tíha konstrukce
ZS1	účinky předpětí
ZS2	plné užité zatížení
ZS3	užité zatížení na polovině délky
ZS4	užité zatížení ve středu pole
ZS5	zatížení kladnou změnou rovnoměrné teploty
ZS6	zatížení zápornou změnou rovnoměrné teploty
ZS7	užité zatížení na jednom rameni, po celé jeho délce

### **5.3.5. Kombinace zatížení**

#### PROVOZNÍ KOMBINACE

Charakteristické kombinace (dle rovnice 6.14 normy)

char_01	$ZS0 + ZS1 + ZS2$
char_02	$ZS0 + ZS1 + ZS3$
char_03	$ZS0 + ZS1 + ZS4$
char_04	$ZS0 + ZS1 + ZS5$
char_05	$ZS0 + ZS1 + ZS6$
char_06	$ZS0 + ZS1 + ZS2 + 0,6 \times ZS5$
char_07	$ZS0 + ZS1 + ZS3 + 0,6 \times ZS5$
char_08	$ZS0 + ZS1 + ZS4 + 0,6 \times ZS5$
char_09	$ZS0 + ZS1 + ZS2 + 0,6 \times ZS6$
char_10	$ZS0 + ZS1 + ZS3 + 0,6 \times ZS6$
char_11	$ZS0 + ZS1 + ZS4 + 0,6 \times ZS6$
char_12	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS2 + ZS5$
char_13	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS3 + ZS5$
char_14	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS4 + ZS5$
char_15	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS2 + ZS6$
char_16	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS3 + ZS6$
char_17	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS4 + ZS6$
char_18	$ZS0 + ZS1$ (v čase $t_0$ )

Časté kombinace (dle rovnice 6.15 normy)

casta_01	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS2 + 0,5 \times ZS5$
casta_02	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS3 + 0,5 \times ZS5$
casta_03	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS4 + 0,5 \times ZS5$
casta_04	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS2 + 0,5 \times ZS6$
casta_05	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS3 + 0,5 \times ZS6$
casta_06	$ZS0 + ZS1 + 0,4 \times ZS4 + 0,5 \times ZS6$

Kvazistálé kombinace (dle rovnice 6.16 normy)

kvazi_01	$ZS0 + ZS1$
kvazi_02	$ZS0 + ZS1 + 0,5 \times ZS5$
kvazi_03	$ZS0 + ZS1 + 0,5 \times ZS6$

### NÁVRHOVÉ KOMBINACE

#### *Mostovka*

(dle rovnice 6.10a normy)

uls_01	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1$
uls_02	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS2 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_03	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS3 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_04	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS4 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_05	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS2 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$
uls_06	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS3 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$
uls_07	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS4 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$

(dle rovnice 6.10b normy)

uls_08	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS2 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_09	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS3 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_10	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS4 + 1,5 \times 0,6 \times ZS5$
uls_11	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS2 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$
uls_12	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS3 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$
uls_13	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times ZS4 + 1,5 \times 0,6 \times ZS6$
uls_14	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS2 + 1,5 \times ZS5$
uls_15	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS3 + 1,5 \times ZS5$
uls_16	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS4 + 1,5 \times ZS5$
uls_17	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS2 + 1,5 \times ZS6$
uls_18	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS3 + 1,5 \times ZS6$
uls_19	$0,85 \times 1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,35 \times 0,4 \times ZS4 + 1,5 \times ZS6$

#### *Spodní stavba*

(dle rovnice 6.10 normy)

geo_01	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,5 \times ZS6 + 0,4 \times 1,5 \times ZS2$
geo_02	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,5 \times ZS2 + 0,6 \times 1,5 \times ZS6$
geo_03	$1,35 \times ZS0 + 1,0 \times ZS1 + 1,5 \times ZS7 + 0,6 \times 1,5 \times ZS6$

### **5.4. Numerický model**

Pro první kroky výpočtu lávky byly použity dva nezávislé modely, oba vytvořené jako prostorová prutová konstrukce. K tomu účelu byly použity programy ANSYS 12.1 a Scia Engineer 2013.1. Druhý zmíněný model sloužil jako kontrola pro model z programu ANSYS, který byl pak dále rozvíjen a zpřesňován. Kontrola byla provedena na vlastní tíže jednoho ramena lávky. Příčný směr byl nezávisle řešen opět v programu Scia Engineer 2013.1 jako rovinný prutový model.

#### **5.4.1. Podélný směr**

Model pro řešení podélného směru byl sestavován v několika krocích, z nichž každý zvyšoval přesnost řešení a přibližoval model skutečnému chování konstrukce.

První krokem ve tvorbě numerického modelu bylo sestavení přesné geometrie konstrukce. Geometrie zde byla tvořena těžišťovou osou, ke které byly pomocí tuhých ramen připojeny uzly s šesti procházejícími kabely. Tato geometrie byla vytvořena v programu MS Excel tak, aby mohla být snadno importována pomocí maker do výpočetního programu a dle potřeby měněna pro optimalizaci tvaru a průřezů lávky. Těžišťové ose pak byly přiděleny elementy (beam 4) s příslušnými reálnými charakteristikami proměnného průřezu. Kabely byly modelovány pomocí elementů (link 8) a byly jim přiděleny reálné charakteristiky odpovídající průřezové ploše lan v kabelu a příslušného zkrácení, čímž byla do konstrukce vnesena požadovaná předpínací síla. Tento model byl vytvořen pouze pro jedno rameno lávky a byl na obou koncích vetknut.



Ve druhé fázi bylo tuhé vetknutí nahrazeno poddajně posuvným vetknutím, které umožňovalo určitý posun v podpoře, vlivem klenbových vodorovných sil. Poddajnost posunu byla odhadnuta na základě znalosti plochy opěry a pilot a předpokládané vodorovné tuhosti zeminy. Umožněním vodorovného posunu v opěře se dosáhlo zvětšení účinků od předpětí. V předchozím modelu se normálová síla od předpětí vnášela do konstrukce jen díky zakřivení těžišťové osy. Nyní se její vliv zvětšil a přiblížil se chování na prostém nosníku.

Dalším zpřesněním modelu bylo nahrazení tuhé vazby, připojující externí kabel, elementem o skutečné tuhosti zábradelního sloupku, včetně jeho natáčení k těžišťové ose. Poddajnost sloupku způsobila, že se snížil účinek předpětí v zábradelním kabelu. Sloupek samotný byl však navržen dostatečně tuhý, aby mohl být kabel i nadále uvažován jako neposuvný (soudržný, bez možnosti klouzání lan). Redukce vlivu předpětí nebyla tudíž nikterak kritická.

Posledním zpřesněním bylo vymodelování skutečného podepření. K tomuto účelu již bylo nutno vytvořit i druhé rameno lávky. Obě ramena pak byla napojena pomocí tuhých vazeb k soustavě pilot. Piloty byly vzájemně propojeny tuhými vazbami, které simulují tuhou masivní opěru. Piloty jsou modelovány s délkou odpovídající přibližně třetině jejich skutečné délky, mají přiřazené reálné průřezové charakteristiky a jsou v patě vetknuty. Tím je i nadále zajištěno poddajné vodorovné uložení mostovky v opěře. Vlivem rozmístění pilot ve dvou řadách bylo stále zajištěno vetknutí mostovky.

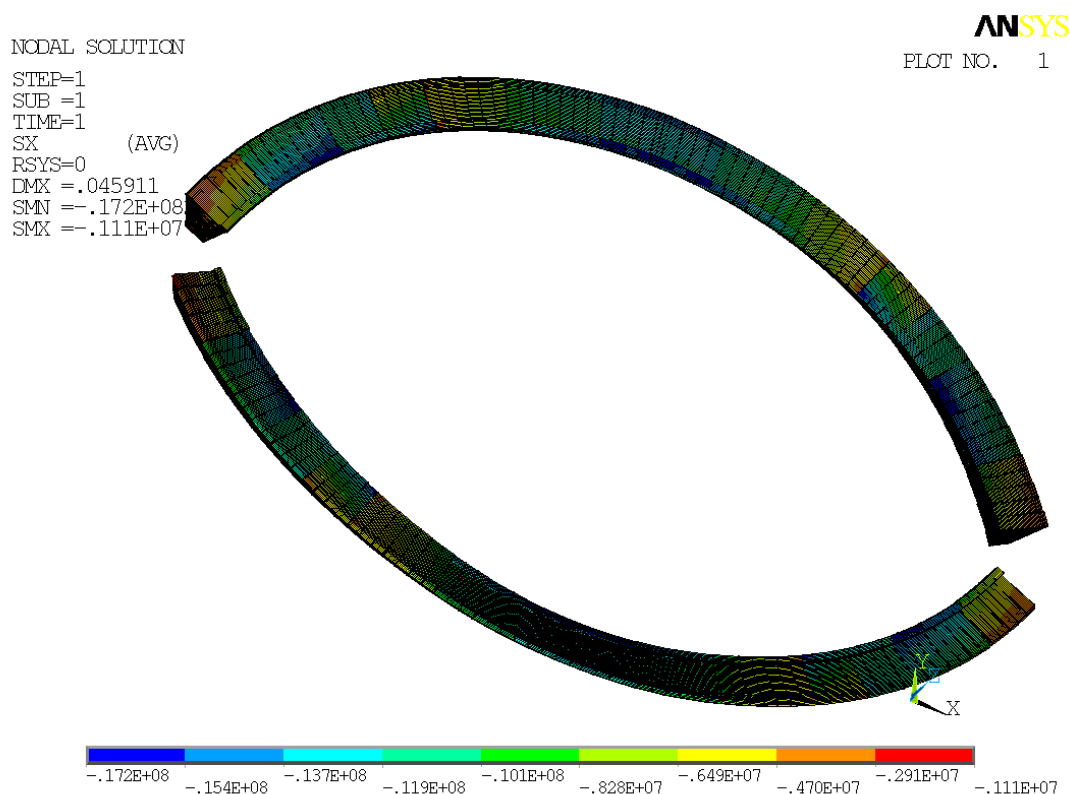
Během zpřesňování modelu probíhala neustálá optimalizace tvaru průřezu a návrhu předpětí. Při změnách průřezu byly nahrazeny elementy těžišťové osy (beam 4) přesnějšími elementy (beam 188), které umožňovali import průřezu z programu Rhinoceros. Při hledání ideálního tvaru také došlo ke změně vedení kabelů. Ukázalo se, že zakotvení některých kabelů po délce konstrukce má velmi příznivý vliv na namáhání mostovky. Takto byla překotvena polovina kabelů.

Konstrukce byla počítána lineárním i nelineárním výpočtem, za účelem zjištění rozdílu ve výsledcích. Vliv účinků druhého řádu ve výpočtu byl překvapivě malý. Rozdíl je ukázán na celkovém normálovém napětí na mostovce při účinku vlastní a předpětí, při obou výpočtech (Obr 11. a 12.).

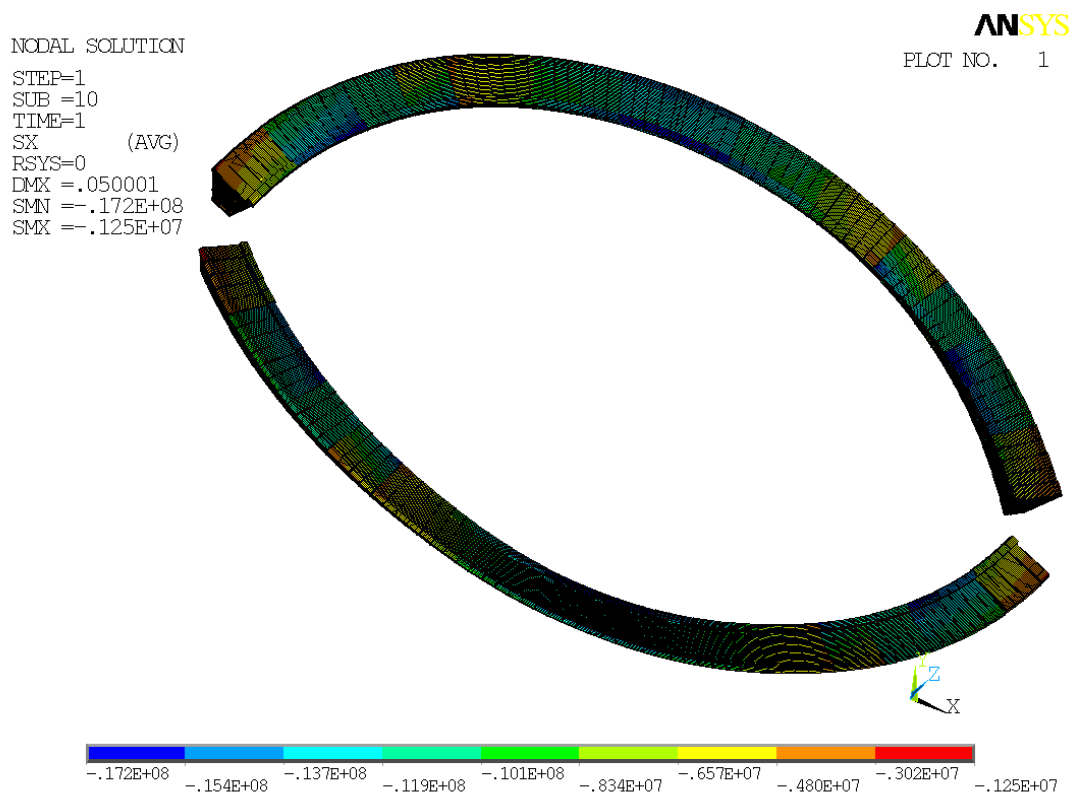
Extrémy napětí při *lineárním* výpočtu: -17,20 MPa / -1,11 MPa

Extrémy napětí při *nelineárním* výpočtu: -17,20 MPa / -1,25MPa

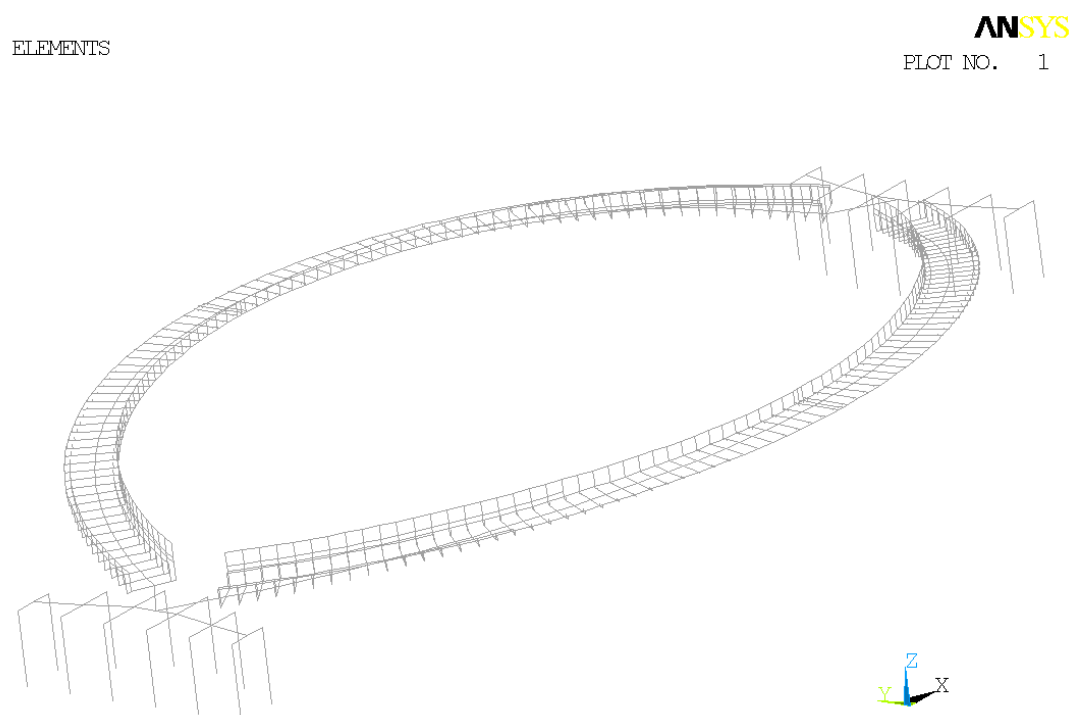
Rozdíl mezi lineárním a lineárním výpočtem byl také zhodnocen z hlediska deformací. Rozdíl v maximálním svislém průhybu (ve středu rozpětí) činí 4 mm.



Obr. 11 Normálové napětí na mostovce při lineárním výpočtu



Obr. 12      Normálové napětí na mostovce při nelineárním výpočtu

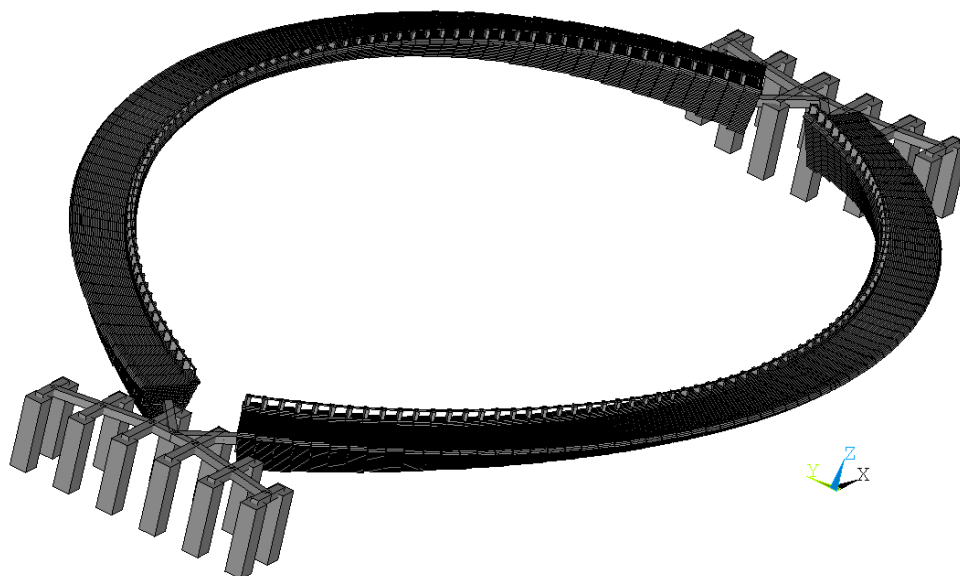


Obr. 13      Axonometrie konečného prutového modelu v programu ANSYS 12.1

ELEMENTS

ANSYS

PLOT NO. 1



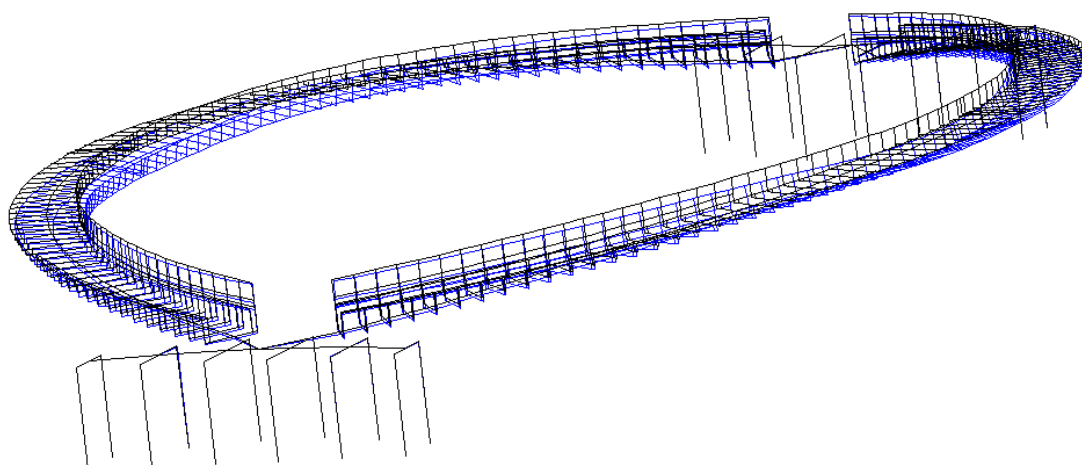
Obr. 14 Model včetně přiřazených průřezů

DISPLACEMENT

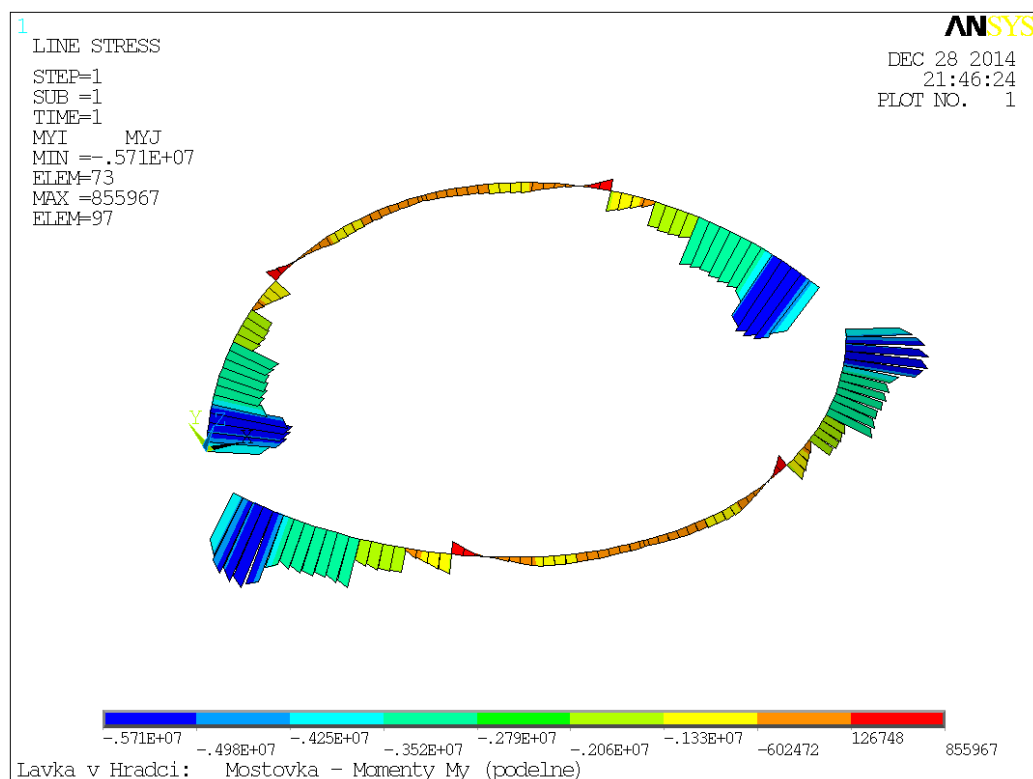
STEP=1  
 SUB =12  
 TIME=1  
 DMX =.047939

ANSYS

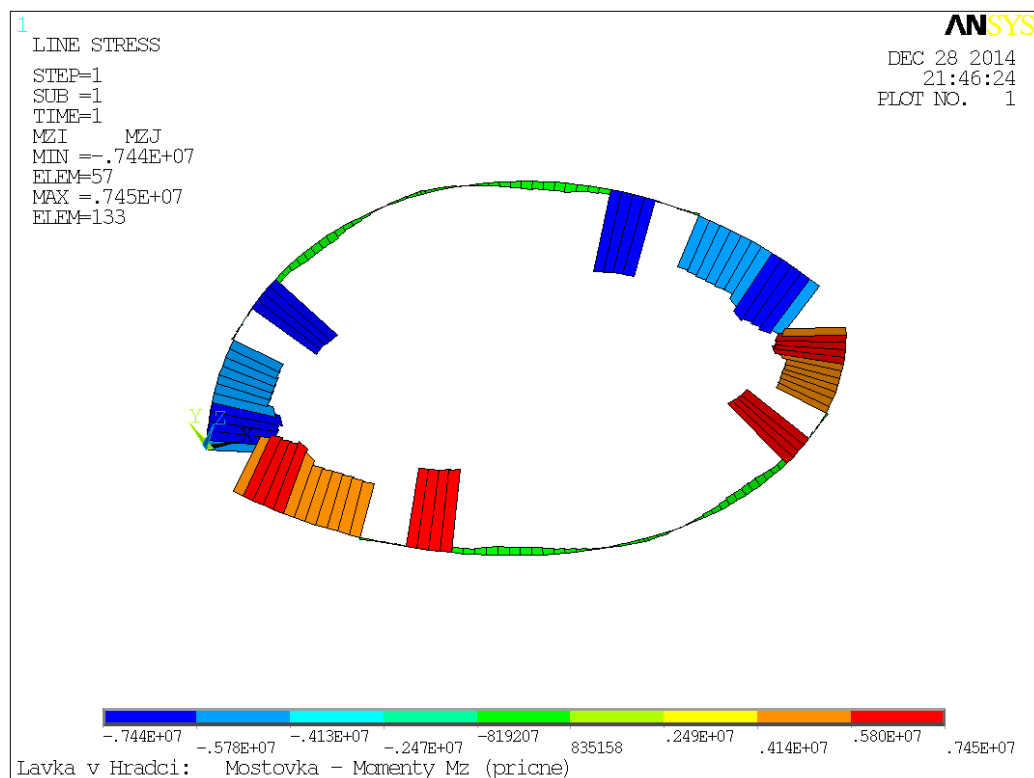
PLOT NO. 1



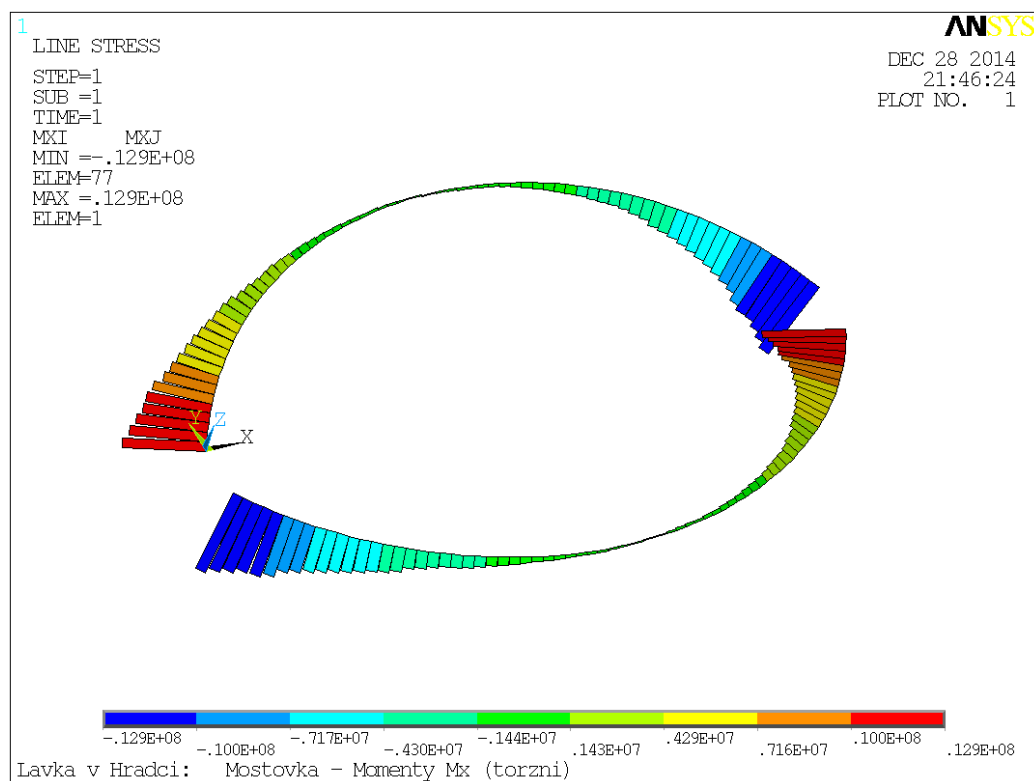
Obr. 15 Deformace modelu při účincích vlastní tíhy a předpětí



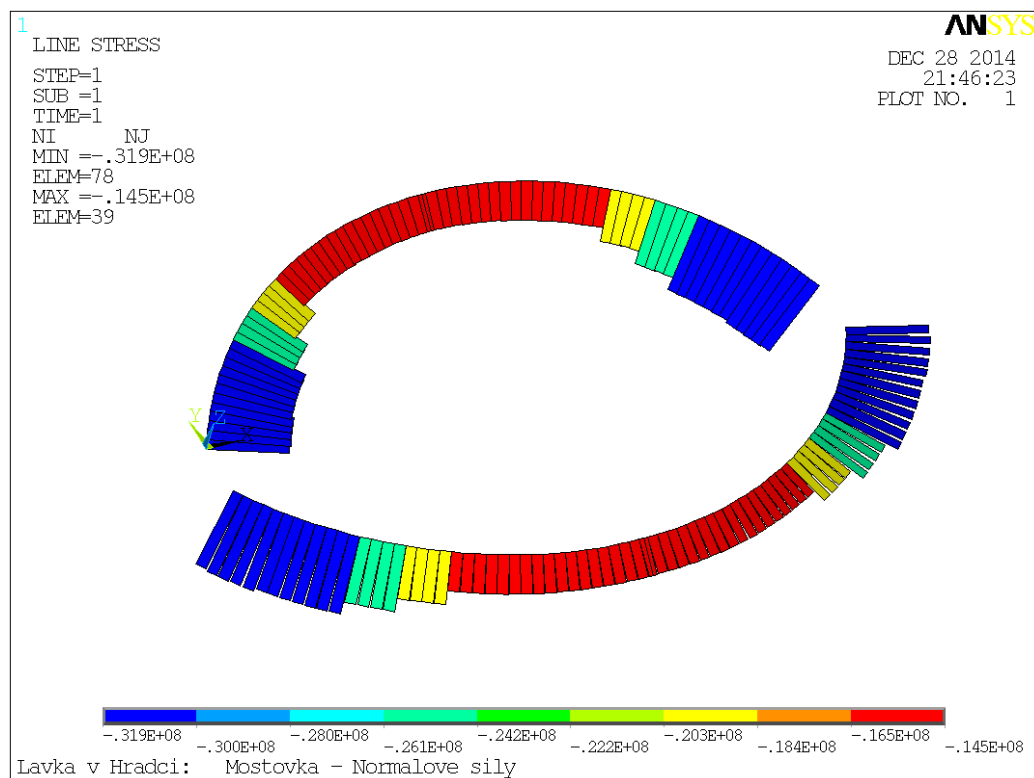
Obr. 16 Průběh svislého ohybového momentu  $M_y$  od vlastní tíhy a předpětí



Obr. 17 Průběh vodorovného ohybového momentu  $M_z$  od vlastní tíhy a předpětí



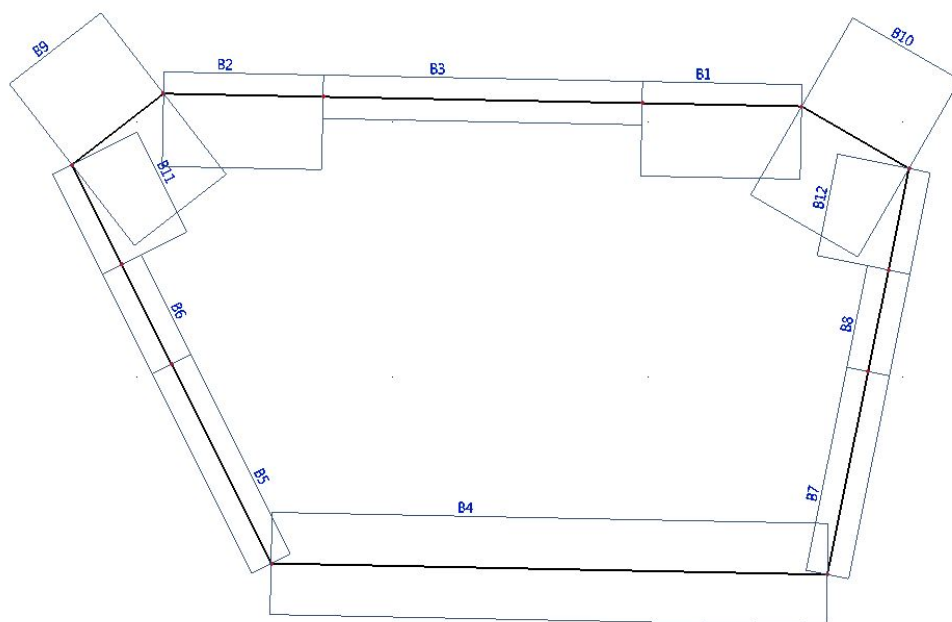
Obr. 18 Průběh torzního momentu Mx od vlastní tíhy a předpětí



Obr. 19 Průběh normálové síly N od vlastní tíhy a předpětí

### 5.4.2. Příčný směr

Pro řešení příčného směru byl vytvořen jeden charakteristický model v programu *Scia Engineer 2013.1*. Jedná se o rovinný prutový model vyjadřující příčný řez komorou v místě její největší výšky. Tento model je zatížen rovnoměrným zatížením  $5,0 \text{ kN/m}^2$  na horní desce a  $1,0 \text{ kN/m}^2$  na desce dolní. Vzhledem k malé šířce lávky byl shledán jako plně dostačující.



#### Prut

Jméno	Průřez	Délka [m]	Tvar	Poč. uzel	Konc. uzel	Typ	FEM typ	Vrstva
B1	nabeh - Obdélník (370; 1000)	0,625	Čára	N1	N2	obecný (0)	standard	Vrstva1
B2	nabeh - Obdélník (370; 1000)	0,625	Čára	N3	N4	obecný (0)	standard	Vrstva1
B3	deska - Obdélník (170; 1000)	1,250	Čára	N4	N1	obecný (0)	standard	Vrstva1
B4	s_deska - Obdélník (400; 1000)	2,180	Čára	N5	N6	obecný (0)	standard	Vrstva1
B5	deska - Obdélník (170; 1000)	0,872	Čára	N5	N7	obecný (0)	standard	Vrstva1
B6	deska - Obdélník (170; 1000)	0,436	Čára	N7	N8	obecný (0)	standard	Vrstva1
B7	deska - Obdélník (170; 1000)	0,811	Čára	N6	N9	obecný (0)	standard	Vrstva1
B8	deska - Obdélník (170; 1000)	0,405	Čára	N9	N10	obecný (0)	standard	Vrstva1
B9	zebro - Obdélník (800; 1000)	0,454	Čára	N11	N3	obecný (0)	standard	Vrstva1
B10	zebro - Obdélník (800; 1000)	0,486	Čára	N2	N12	obecný (0)	standard	Vrstva1
B11	nabeh - Obdélník (370; 1000)	0,436	Čára	N11	N8	obecný (0)	standard	Vrstva1
B12	nabeh - Obdélník (370; 1000)	0,405	Čára	N12	N10	obecný (0)	standard	Vrstva1

Obr. 20 Model příčného řezu v programu *Scia Engineer 2013.1* včetně průřezů

## **5.5. Návrh vyztužení**

Nosná konstrukce mostu je dimenzována podle ČSN EN 1992.

### **5.5.1. Návrh podélného předpětí**

Obě ramena lávky jsou předepnuta pěti vnitřními kabely a jedním vnějším (zábradelním) kabelem. Dva vnitřní kabely jsou spojitě po celé délce lávky a jsou zakotveny na konci opěry. Tyto kabely tvoří 2 x 32 sedmi-drátových lan. Zbylé tři vnitřní kabely jsou také kotveny za opěrrou, ale druhým koncem jsou postupně zakotveny v komoře mostovky. Rozestupy mezi místy zakotvení v mostovce jsou 4,0 m. Tyto kabely tvoří 3 x 37 sedmi-drátových lan. Průběžný zábradelní kabel je tvořen z 37 lan, je opatřen ocelovou chráničkou a zakotven v masivním zábradelním bloku, který je součástí opěry.

Napínací napětí všech kabelů je 1440 MPa. Doba podržení napětí při napínání je uvažována 300 s. Při napínání se uvažuje s pokluzem 4 mm.

Kabel	Počet lan	Plocha lan	Předpínací síla
1	32	4480 mm <sup>2</sup>	6451,2 kN
2	37	5180 mm <sup>2</sup>	7459,2 kN
3	37	5180 mm <sup>2</sup>	7459,2 kN
4	32	4480 mm <sup>2</sup>	6451,2 kN
5	37	5180 mm <sup>2</sup>	7459,2 kN
6	37	5180 mm <sup>2</sup>	7459,2 kN

Návrh předpětí probíhal na stav dekomprese v tažených vláknech pro kvazistálou kombinaci zatížení. Při posouzení stávajícího návrhu bylo dosaženo stavu dekomprese i pro častou kombinaci zatížení.

Trasování vnitřních kabelů je pevně vázáno na polohu nivelety. Odklon od pevné polohy je pouze před místem zakotvení v mostovce a samozřejmě v opěře, kdy již není ani niveleta definovaná. Zábradelní kabel neprobíhá po celé délce mostu ve stejné poloze, nýbrž se jeho výšková poloha mění tak, že směrem ke středu rozpětí se jeho výška nad mostovou snižuje.



Vedení kabelových kanálků je svisle i půdorysně zakřivené. Z toho plyne, že bude docházet k velkým ztrátám tření a tomu odpovídajícím ztrátám pokluzem. Především pak v blízkosti kotevních oblastí, kde se dráha kabelů znatelně zakřivuje. Ztráty se budou po délce každého kabelu znatelně měnit. Reálné řešení konstrukce tohoto typu by vyžadovalo podrobnou analýzu ztrát předpínací výztuže s ohledem na postupy předpínání, fáze výstavby a celkové zatížení konstrukce v čase. Pro tento účel by bylo vhodné použít například program *Scia Engineer*, jehož funkcionality *Předpětí* v kombinaci s modulem *Fáze výstavby* umožňuje přesné řešení krátkodobých i dlouhodobých ztrát předpětí na rovinných modelech.

Pro účely této práce byly ztráty pouze odhadnuty a byla stanovena jejich jednotná hodnota pro celou délku všech kabelů. Ztráty definovány pro čas  $t_0$  a pro konec relaxace výztuže v čase  $t_{oo}$ .

Napínací napětí		$\sigma_{P,m} = 1440 \text{ MPa}$
Krátkodobé ztráty	10%	$\sigma_{P,0} = 0,9 \cdot 1440 = 1296 \text{ MPa}$
Dlouhodobé ztráty	15%	$\sigma_{P,oo} = 0,85 \cdot 1296 = 1101,6 \text{ MPa}$

### **5.5.2. Předpínací systém a jeho části**

Pro návrh prvků předpínací soustavy byl zvolen předpínací systém Freyssinet. Návrh proběhl na základě doporučení výrobce shrnutých v katalogových listech obsažených v příloze *P1-04 Použité podklady*.

Použité části předpínacího systému:

Předpínací lana	Y 1860 S7 – 15,2 – A	
Kanálky pro vnitřní předpětí	<i>Plyduct</i>	$\phi 130/136 \text{ mm}$
-	kurugovaná plastová hadice	
-	minimální poloměr zakřivení hadice = $100\phi = 13,0 \text{ m}$	

Kanálek pro vnější předpětí      *Ocelová trubka svařovaná*     $\phi 136 \times 6 \text{ mm}$

- zaoblená, podélně svařovaná trubka s návarky na vnitřní straně
- poloměr zaoblení 33,00 m
- délka každé trubky 0,90 m.
- každá trubka je přivařena ke stojce nosného zábradlí

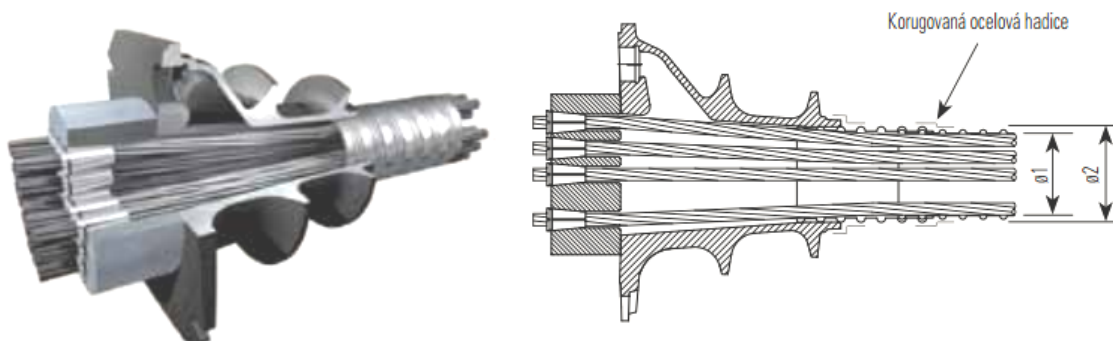
Materiál pro injektáž kanálku      *Freyssiflow HP 215*

- cementová malta s dlouhodobě vysokou tekutostí.

Kotvy      *37C15*

- kompaktní vícevrstvé sedm a třiceti-lanové kotvy
- kotva je napojena na kanálek pomocí korugované ocelové hadice

AnC15



Obr. 21      *Kotva řady C pro vnitřní předpětí se soudržností*

### 5.5.3. Návrh betonářské výztuže mostovky

Mostovku je v podélném směru nutno lokálně doplnit o betonářskou výztuž. Jedná se o 2 x 3 $\phi$  R22 v žebrech spodní desky komory. Tato výztuž přechází až do středové části mostovky, tvořené deskou s podélnými žebry. V těchto místech je výztuž doplněna dalších 2 x 5  $\phi$  R22 do stejných míst a 5  $\phi$  R32, respektive 6  $\phi$  R32 do horní hrany žeber.

Další podélnou výztuží v mostovce jsou vložky  $\phi$  R18, rozmístěné po obvodě nosníku, jejichž počet klesá směrem do středu mostu. V místě vetknutí je zapotřebí rozmístit 85 vložek, dále jen 50, 35, 18 a ve středu rozpětí 12 vložek výztuže  $\phi$  R18.

V místě vetknutí jsou navrženy čtyř-střížné třmínky  $\phi$  R16 po 200 mm zajišťující celý obvod mostovky. V místě komory přecházejí na dvou-střížné  $\phi$  R16 se vzdálenostmi 180, 220 a 160 mm. Ve středu rozpětí potom postačují konstrukční třmínky  $\phi$  R12.

Příčná výztuž je navržena tak, aby její rozestupy odpovídali rozestupům třmínků, nebo byly jejich násobkem a nedocházelo ke kolizi těchto výztuží. Příčné vyztužení je provedeno z profilů  $\phi$  R16,  $\phi$  R14 a  $\phi$  R12 a je navrženo formou uzavřených třmínků.

#### **5.5.1. Návrh betonářské výztuže opěry a kotevních oblastí**

Opěra je vyztužena na všech površích vložkami  $\phi$  R18 po 250 a 300 mm. V místě tažených pilot je výztuž zahuštěna tak, aby zajistila přenos tahových sil z pilot do kotevní oblasti. V místě tlačených pilot je navrženo vyztužení v podobě lokální šroubovice a vodorovných vložek na účinky štěpných sil. Přechodová oblast opěry je vyztužena proti usmýknutí šikmou výztuží. V místě tlačených pilot je navržena vodorovná výztuž 5x R18, proti účinkům štěpných sil. Kotevní blok externího kabelu je vyztužen po obvodu vložkami  $\phi$  R18 a třmínky  $\phi$  R18 proti ujetí bloku. Výztuž je ve všech stycích provázána a zakotvena v tlačené oblasti opěry.

Vyztužení kotevní oblasti vnitřních kabelů je zajištěno pomocí šroubovic za kotvou a přidavných vložek kolem čela kotvy. Spirály jsou navrženy jednotně z profilu  $\phi$  R20, 9 závitů s roztečemi 90 mm a průměrem 520 mm. Přídavná výztuž čela je tvořena vložkami 4x  $\phi$  R20 v obou směrech.

Tab. 1 Celkové vyztužení mostovky po průřezech

PRŮŘEZ	SVISLÉ TŘMÍNKY	VODOROVNÉ TŘMÍNKY	PŘÍČNÁ SVILSÁ VÝZTUŽ	PŘÍČNÁ VODOROVNÁ VÝZTUŽ	PODÉLNÁ VÝZTUŽ OHYBOVÁ	PODÉLNÁ VÝZTUŽ OBVODOVÁ
CS01	2x 4xR16, á 200 mm	2x 4xR16, á 200 mm	R12 - konstrukčně	R12 - konstrukčně	-	85x R18
CS02	2x 4xR16, á 200 mm	2x 4xR16, á 200 mm	R12 - konstrukčně	R12 - konstrukčně	-	50x R18
CS03	2x 4xR16, á 200 mm	2x 4xR16, á 200 mm	R12 - konstrukčně	R12 - konstrukčně	-	35x R18
CS04	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	-	35x R18
CS05	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 3xR22	35x R18
CS06	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 2xR16, á 180 mm	2x 3xR22	35x R18
CS07	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 2xR16, á 180 mm	2x 3xR22	18x R18
CS08	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR18, á 180 mm	2x 2xR14, á 180 mm	2x 2xR16, á 180 mm	2x 3xR22	18x R18
CS09	2x 2xR16, á 220 mm	2x 2xR16, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR16, á 110 mm	2x 3xR22	18x R18
CS10	2x 2xR16, á 220 mm	2x 2xR16, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR16, á 110 mm	2x 3xR22	18x R18
CS11	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR16, á 110 mm	2x 3xR22	18x R18
CS12	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR14, á 220 mm	2x 2xR16, á 110 mm	2x 3xR22	18x R18
CS13	-	1x 2xR18, á 160 mm	-	-	2x 3xR22	18x R18
CS14	-	1x 2xR18, á 160 mm	-	-	2x 3xR22	18x R18
CS15	-	1x 2xR18, á 160 mm	-	-	2x 7xR22, 5xR32, 6xR32	18x R18
CS16	-	-	-	2x 2xR12, á 140 mm	2x 7xR22, 5xR32, 6xR32	12x R18
CS17	-	-	-	2x 2xR12, á 140 mm	2x 7xR22, 5xR32, 6xR32	12x R18
CS18	-	-	-	2x 2xR12, á 110 mm	2x 7xR22, 5xR32, 6xR32	12x R18

## 5.6. Posouzení mostovky

### 5.6.1. Posouzení na mezní stav únosnosti

Mostovka byla v podélném směru posuzována na mezní stav únosnosti v prostorovém mimostředním tlaku, smyku a kroucení a podélném smyku. V příčném směru byly provedeny posudky na únosnost v příčném ohybu, interakci příčného směru a podélného smyku a na smykovou únosnost v příčném směru. Lokálně pak byly posouzeny kotevní bloky v mostovce a v opěrách na únosnost kotevní oblasti.

Všechny posudky byly provedeny pro 10 vybraných příčných řezů. Řezy byly vybrány tak, aby zahrnovaly všechny místa s výraznou změnou geometrie (přechod mezi typy průřezů) nebo s lokálním extrémem ve vnitřních silách (oblast za kotvením kabelu v mostovce). Jedná se o průřezy CS01, CS03, CS06, CS07, CS09, CS11, CS14, CS16 a CS18.

#### Posouzení únosnosti v prostorovém mimostředním tlaku:

Tab. 2 Posouzení únosnosti v prostorovém mimostředním tlaku

OZNAČENÍ PRŮŘEZU	OZNAČENÍ KOMBINACE	Med [kNm]	Mrd [kNm]	VYUŽITÍ	POSOUZENÍ PRŮŘEZU
CS01	uls_14	11913	55431	21.5 %	VYHOVUJE
	uls_05	17198	50729	33.9 %	VYHOVUJE
	uls_18	22269	43371	<b>51.3 %</b>	VYHOVUJE
CS03	uls_14	8716	43130	20.2 %	VYHOVUJE
	uls_05	17198	41091	41.9 %	VYHOVUJE
	uls_18	18615	43371	<b>42.9 %</b>	VYHOVUJE
CS04	uls_15	6795	19316	35.2 %	VYHOVUJE
	uls_05	12298	30701	40.1 %	VYHOVUJE
	uls_18	16342	32421	<b>50.4 %</b>	VYHOVUJE
CS06	uls_15	3885	21995	17.7 %	VYHOVUJE
	uls_05	9071	21922	41.4 %	VYHOVUJE
	uls_18	11747	27654	<b>42.5 %</b>	VYHOVUJE
CS07	uls_05	4564	18831	24.2 %	VYHOVUJE
	uls_18	9853	28197	<b>34.9 %</b>	VYHOVUJE
	uls_14	5279	18954	27.9 %	VYHOVUJE

Tab. 2 - pokračování

CS09	uls_15	3029	10653	28.4 %	VYHOVUJE
	uls_18	8488	13177	<b>64.4 %</b>	VYHOVUJE
CS11	uls_07	2609	7474	34.9 %	VYHOVUJE
	uls_16	9489	12970	<b>73.2 %</b>	VYHOVUJE
CS14	uls_14	5550	8599	64.5 %	VYHOVUJE
	uls_10	3314	5760	<b>57.5 %</b>	VYHOVUJE
CS16	uls_14	6447	7963	81,0 %	VYHOVUJE
	uls_18	5482	5919	<b>92.6 %</b>	VYHOVUJE
CS18	uls_14	6413	7334	87.4 %	VYHOVUJE
	uls_18	6076	6276	<b>96.8 %</b>	VYHOVUJE

Mostovka **vyhověla** na MSÚ při namáhání tlakem a šikmým ohybem.

### Posouzení únosnosti ve smyku a kroucení:

Tab. 3 Posouzení únosnosti při interakci smyku a kroucení

OZNAČENÍ PRŮŘEZU	OZNAČENÍ KOMBINACE	Ved,z/Vrd,z + Ted/Trd,c	Ved,y/Vrd,y + Ted/Trd,c	POSOUZENÍ PRŮŘEZU
CS01	uls_06	0.861	0.747	VYHOVUJE
	uls_05	0.864	0.748	VYHOVUJE
CS03	uls_06	0.768	0.680	VYHOVUJE
	uls_05	0.758	0.684	VYHOVUJE
	uls_14	0.641	0.681	VYHOVUJE
CS04	uls_02	0.635	0.666	VYHOVUJE
	uls_05	0.903	0.560	VYHOVUJE
	uls_18	0.598	0.762	VYHOVUJE
CS06	uls_05	0.958	0.489	VYHOVUJE
	uls_14	0.526	0.646	VYHOVUJE
	uls_07	0.825	0.535	VYHOVUJE
CS07	uls_05	0.973	0.533	VYHOVUJE
	uls_14	0.555	0.595	VYHOVUJE
	uls_07	0.927	0.541	VYHOVUJE
CS09	uls_05	0.840	0.637	VYHOVUJE
	uls_14	0.699	0.751	VYHOVUJE
	uls_13	0.855	0.844	VYHOVUJE

Tab. 3 - pokračování

CS11	uls_05	0.788	0.709	VYHOVUJE
	uls_14	0.742	0.940	VYHOVUJE
	uls_18	0.817	0.829	VYHOVUJE
CS14	uls_13	0.949	0.359	VYHOVUJE
	uls_18	0.755	0.552	VYHOVUJE
CS16	uls_13	0.703	0.625	VYHOVUJE
	uls_18	0.790	0.968	VYHOVUJE
CS18	uls_09	0.646	0.498	VYHOVUJE
	uls_18	0.742	0.727	VYHOVUJE

Mostovka **vyhověla** na MSÚ při namáhání smykem a kroucením.

Na působení posouvajících sil vyhověl průřez bez navržení třmínků.

Na působení torzního momentu byly navrženy třmínky po obvodě průřezu.

### Posouzení únosnosti v podélném smyku a příčném ohybu:

Tab. 4 Posouzení únosnosti při interakci podélného smyku a příčného ohybu

### ŘEŠENÍ VODOROVNÉHO SMĚRU

PRŮŘEZ	NÁVRH VÝZTUŽE	výztuž navržená	výztuž potřebná pro podélný smyk	výztuž potřebná pro příčný ohyb	POSOUZENÍ
CS01	-	-	-	-	-
CS03	-	-	-	-	-
CS04	<b>R14 á 180 mm</b>	855 mm <sup>2</sup>	569 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS06	<b>R16 á 180 mm</b>	1117 mm <sup>2</sup>	663 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS07	<b>R16 á 180 mm</b>	1117 mm <sup>2</sup>	709 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS09	<b>R16 á 110 mm</b>	1828 mm <sup>2</sup>	869 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS11	<b>R16 á 110 mm</b>	1828 mm <sup>2</sup>	1001 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS14	<b>R18 á 160 mm</b>	1590 mm <sup>2</sup>	0 mm <sup>2</sup>	192 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS16	<b>R12 á 140 mm</b>	808 mm <sup>2</sup>	0 mm <sup>2</sup>	192 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE
CS18	<b>R12 á 110 mm</b>	1028 mm <sup>2</sup>	0 mm <sup>2</sup>	192 mm <sup>2</sup>	VYHOVUJE

Tab. 4 - pokračování

### ŘEŠENÍ SVISLÉHO SMĚRU

PRŮŘEZ	NÁVRH VÝZTUŽE	výztuž navržená	výztuž potřebná pro podélný smyk	výztuž potřebná pro příčný ohyb	POSOUZENÍ
CS01	-	-	-	-	-
CS03	-	-	-	-	-
CS04	<b>R14 á 180 mm</b>	855 mm <sup>2</sup>	480 mm <sup>2</sup>	296 mm <sup>2</sup>	<b>VYHOVUJE</b>
CS06	<b>R14 á 180 mm</b>	855 mm <sup>2</sup>	396 mm <sup>2</sup>	296 mm <sup>2</sup>	<b>VYHOVUJE</b>
CS07	<b>R14 á 180 mm</b>	855 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>	296 mm <sup>2</sup>	<b>VYHOVUJE</b>
CS09	<b>R14 á 220 mm</b>	700 mm <sup>2</sup>	261 mm <sup>2</sup>	296 mm <sup>2</sup>	<b>VYHOVUJE</b>
CS11	<b>R14 á 220 mm</b>	700 mm <sup>2</sup>	302 mm <sup>2</sup>	296 mm <sup>2</sup>	<b>VYHOVUJE</b>
CS14	-	-	-	-	-
CS16	-	-	-	-	-
CS18	-	-	-	-	-

Mostovka **vyhověla** na MSÚ při interakci podélného smyku a příčného ohybu.

### Posouzení únosnosti kotevní oblasti:

Návrh kotevní oblasti proveden podle doporučení výrobce (Freyssinet sustainable technology) pro víceúčelové kotvy 37C15 a třídu betonu C 40/50.

Pro návrh umístění kotev byly dodrženy rozestupy kotev pro třídu betonu C40/50 prezentované dodavatelem. (*příloha P1.04 – Použité podklady*). Tento předpoklad je dostačující pro zajištění dostatečné únosnosti betonu namáhaného triaxiálním tlakem, v místě pod kotvou.

V kotevní oblasti byla navržena výztuž v podobě šroubovic a přídavných třmínků na účinky štěpných sil od předpětí.

Tlačený beton **vyhověl** na základě predepsaných rozestupů kotev. Navržená výztuž kotevní oblasti **vyhověla** na účinky lokálních štěpných sil.



**Posouzení nosného zábradlí vynášejícího externí kabel:**

Posouzení provedeno pro kritickou kombinaci, kterou je  $uls_{02}$ . Posudek proveden na plastickou únosnost sloupku při namáhání šikmým ohybem a osovou silou.

*Tab. 5 Posouzení únosnosti stojky zábradlí*

ÚNOSNOST PŘI INTERAKCI ŠIKMÉHO OHYBU A OSOVÉ SÍLY			
sloupek 1	$0.116 + 0.02 + 0.013 =$	<b>0.149</b>	<b>PRVEK VYHOVUJE</b>
sloupek 2	$0.077 + 0.022 + 0.015 =$	<b>0.113</b>	<b>PRVEK VYHOVUJE</b>
sloupek 3	$0.307 + 0.179 + 0.017 =$	<b>0.504</b>	<b>PRVEK VYHOVUJE</b>

Kotvení sloupku je posouzeno na plastickou tahovou únosnost kotvícího prvku, kterým je čtveřice úhelníků L 70x7. Tyto kotvy **vyhověly** na MSÚ. Posudek vytržení kotev nebyl proveden, jelikož je vytržení zabráněno provázáním kotev s výztuží mostovky.

**Posouzení únosnosti tažených a tlačných pilot:**

Tlačená pilota:  $U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} = 4867,5 + 4005,2 = 8872,7 \text{ kN}$   
 $V_d = 8000 \text{ kN}$   
 **$8872,7 > 8320,0 \text{ kN}$**  **VYHOVUJE**

Tažená pilota:  $U_{vd} = U_{fd} = 3982,2 \text{ kN}$   
 $V_d = 3693,0 \text{ kN}$   
 **$3982,2 > 3693,0 \text{ kN}$**  **VYHOVUJE**

Piloty **vyhovují** na mezní stav únosnosti.

**VŠECHNY PRVKY A ŘEZY VYHOVĚLY NA MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.**

### **5.6.2. Posouzení na mezní stav použitelnosti**

Součástí posudku mezního stavu použitelnosti je vyhodnocení normálových napětí na mostovce, přičemž musí být dodrženy podmínky pro omezení napětí v betonu a pro omezení trhlin. Dále je posuzováno maximální napětí v předpínací výztuži. Hodnota limitního průhybu na lávkách není normou stanovena.

#### **Omezení deformací:**

Mostovka je navržena v lineárním nadvýšení, které dosahuje maximální hodnoty 48 mm ve středu rozpětí na vnitřním okraji mostovky. Průhyby počítány nelineárním výpočtem MKP.

Maximální okamžitý průhyb  $u_{0,max} =$  **39,1 mm**

Maximální dlouhodobý průhyb  $u_{00,max} =$  **51,4 mm**

#### **Omezení napětí v předpínací výztuži:**

$\sigma_{P00} =$  1101,6MPa

$\sigma_{P00,char} =$  1110,5 MPa

$\sigma_{Pmax} = 0,75 \cdot f_{pk} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ MPa}$

1395 MPa > 1101,6MPa ... **VYHOVUJE**

#### **Omezení napětí v betonu:**

Podmínky omezení napětí v betonu

- stav dekomprese vyžadován pro kvazistálou kombinaci zatížení
- charakteristická a častá kombinace bez vzniku trhlin
- konstrukce bez lepených příčných spár, není vyžadován minimální přítlak

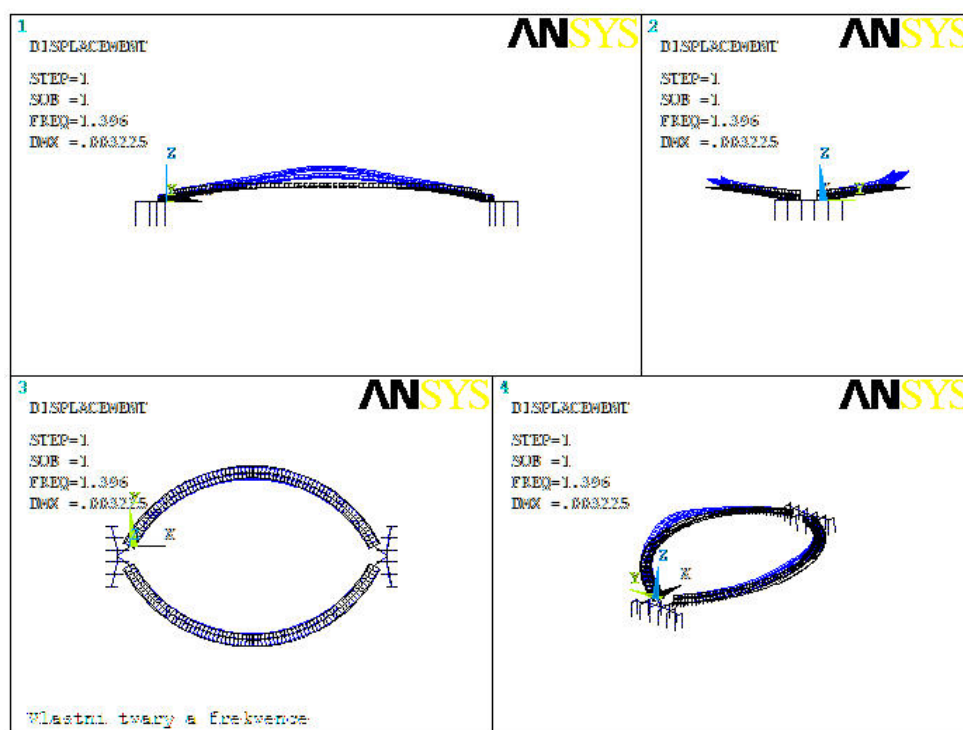
Tab. 6 Posouzení napětí v betonu

OZNAČENÍ KOMBINACE	EXTRÉMNI NAPĚTÍ NA KCI		OMEZENÍ NAPĚTÍ		POSUDEK KOMBINACE
	MIN [MPa]	MAX [MPa]	MIN [MPa]	MAX [MPa]	
char_01	-19.40	-2.23	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_02	-19.00	-1.58	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_03	-19.90	-1.72	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_04	-19.20	-0.44	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_05	-19.00	2.26	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_06	-20.50	-2.07	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_07	-20.40	-1.56	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_08	-21.00	-2.48	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_09	-18.80	1.26	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_10	-18.30	1.27	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_11	-19.30	1.87	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_12	-19.90	-0.95	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_13	-19.90	-0.79	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_14	-20.00	-1.11	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_15	-19.40	3.05	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_16	-19.40	2.94	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_17	-19.60	3.29	-24.00	3.50	VYHOVUJE
char_18 ( t <sub>0</sub> )	-22.10	0.31	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_01	-18.60	-1.40	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_02	-18.60	-1.24	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_03	-18.80	-1.57	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_04	-17.30	-0.23	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_05	-17.20	-0.14	-24.00	3.50	VYHOVUJE
casta_06	-17.40	-0.31	-24.00	3.50	VYHOVUJE
kvazi_01	-17.20	-1.11	-18.00	0.00	VYHOVUJE
kvazi_02	-17.90	-0.89	-18.00	0.00	VYHOVUJE
kvazi_03	-16.80	-0.30	-18.00	0.00	VYHOVUJE

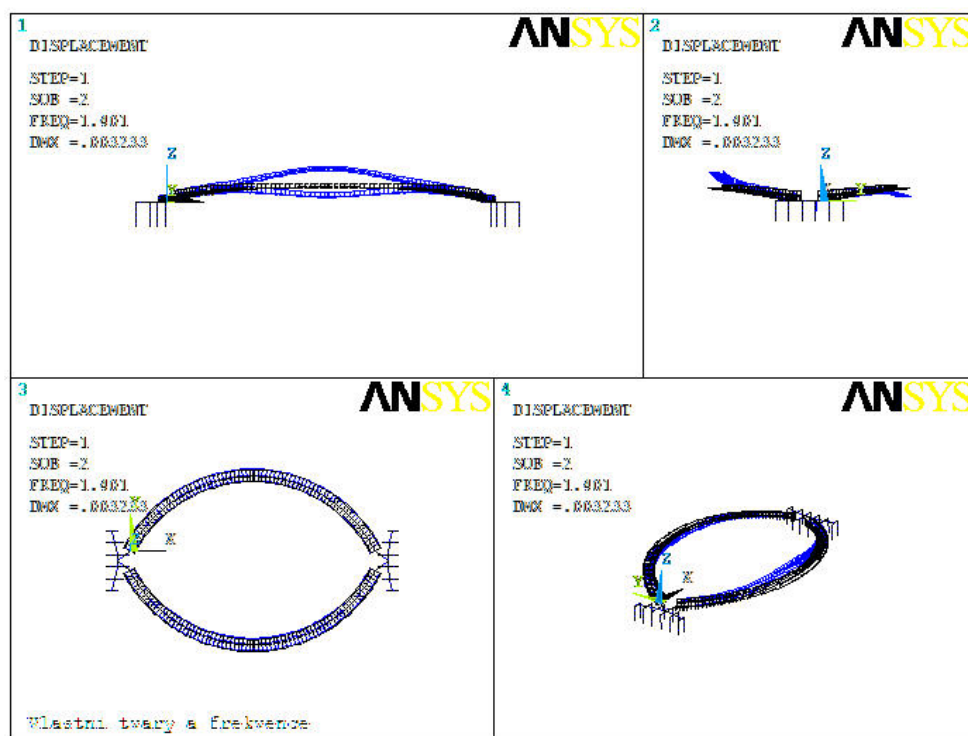
VŠECHNY ŘEZY MOSTOVVKVY VYHOVĚLY NA MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.

## 5.7. Dynamická analýza konstrukce

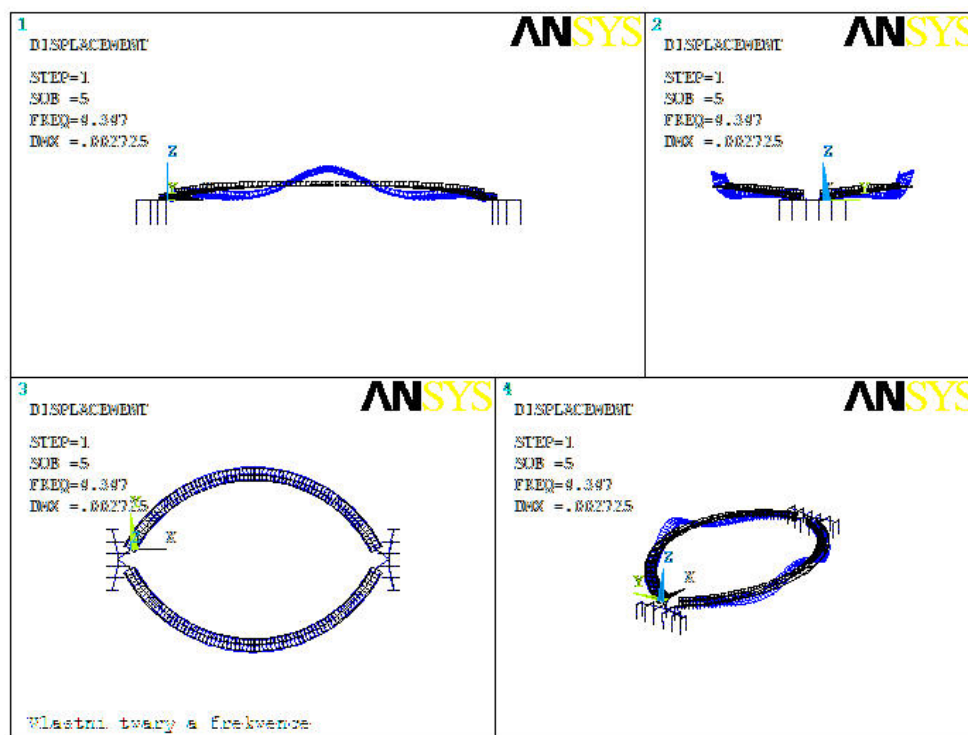
Pro zjištění vlastních tvarů konstrukce byla provedena lineární dynamická analýza lávky. K tomuto účelu byl použit finální model včetně vlivu podepření. Analýza byla provedena v programu ANSYS 12.1.



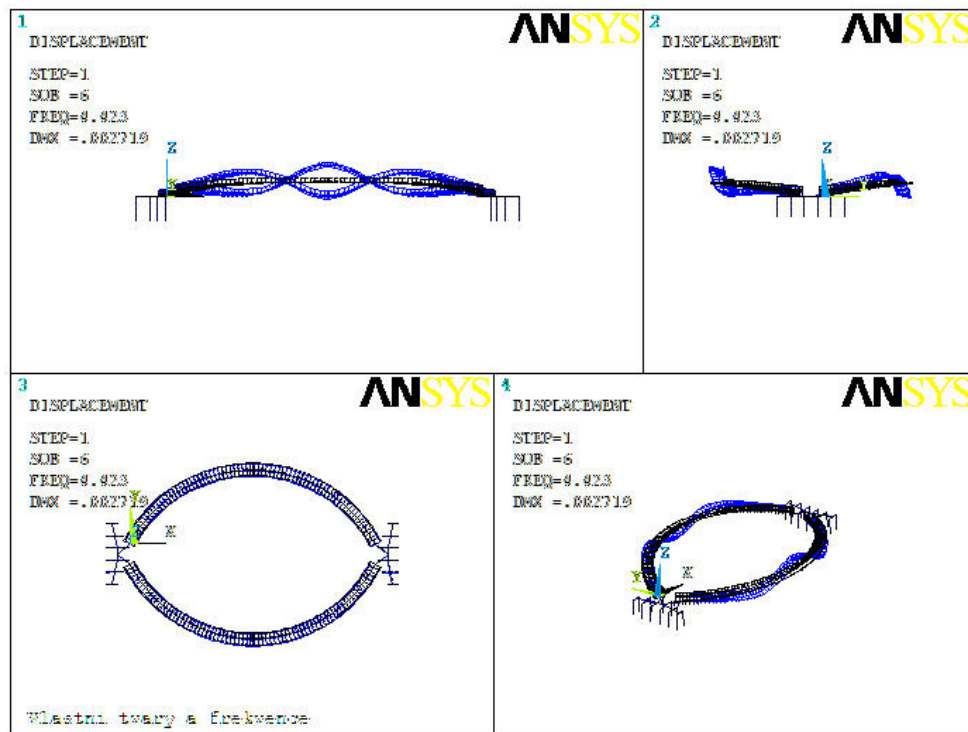
Obr. 22 První vlastní tvar konstrukce



Obr. 23 Druhý vlastní tvar konstrukce



Obr. 24 Třetí vlastní tvar konstrukce



Obr. 25 Čtvrtý vlastní tvar konstrukce

Pro dynamickou analýzu bylo zjištěno dvacet vlastních tvarů konstrukce, z nichž prvních dvanáct bylo posouzeno podle hodnoty vlastní frekvence.

Tab. 7 Souhrn vlastních tvarů konstrukce

VLASTNÍ TVARY		FREKVENCE	AMPLITUDA
1	<b>1. podélný</b>	<b>1.396 Hz</b>	0.003225 m
2	2. podélný	1.401 Hz	0.003233 m
3	3. podélný	2.552 Hz	0.002137 m
4	4. podélný	2.594 Hz	0.002159 m
5	5. podélný	4.347 Hz	0.002725 m
6	6. podélný	4.423 Hz	0.002719 m
7	<b>1. příčný</b>	<b>4.613 Hz</b>	0.001406 m
8	2. příčný	5.381 Hz	0.001446 m
9	7. podélný	6.644 Hz	0.002372 m
10	8. podélný	6.776 Hz	0.002398 m
11	<b>1. torzní</b>	<b>7.601 Hz</b>	0.001906 m
12	2. torzní	7.754 Hz	0.000912 m

Tab.8 Vyhodnocení dynamiky na základě vlastní frekvence

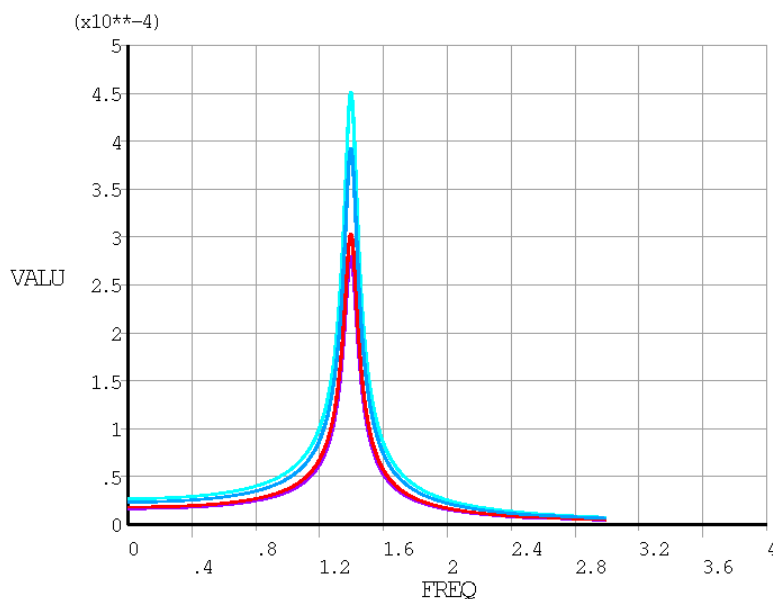
- |   |   |
|---|---|
| 1. Frekvence <b>podélného</b> kmitání zasahuje do rozmezí 1.0 - 3.0 Hz<br>--->                    | <b>Podrobná dynamická analýza podélného kmitání</b> |
| 2. Frekvence <b>příčného</b> kmitání nezasahuje do rozmezí 0.5 - 2.5 Hz<br>--->                   | <b>Vodorovné kmitání není nutno dále posuzovat</b>  |
| 3. Frekvence 1. <b>torzního</b> kmitání je více než 2,5x větší než frekvence 1. podélného<br>---> | <b>Torzní kmitání není nutno dále posuzovat</b>     |

Pro posudek maximálního zrychlení konstrukce vlivem kmitání v podélném směru byly vybrány první 4 podélné vlastní tvary a v místě jejich maximálních výchylek byla konstrukce rozkmitána harmonickým buzením o síle 180 N.

Maximální zrychlení mostovky nastává v jejím středu, při vyvození podélného kmitání odpovídajícímu prvnímu vlastnímu tvaru. Toto zrychlení je  $0,035 \text{ ms}^{-2}$ . Limitní hodnota zrychlení je pro tento tvar  $0,591 \text{ ms}^{-2}$ . Konstrukce **vyhovuje** pro všechny možné vzniklé stavy rezonance.

POST26  
AMPLITUDE  
uz39  
uz28  
uz29  
uz33

**ANSYS**  
PLOT NO. 1



Obr. 26 Odezva konstrukce na buzení umístěné v polovině rozpětí

## **5.8. Uložení a mostní vybavení**

Lávka je navržena jako bezložisková s přímým napojením mostovek do masivních opěr, neobsahuje tudíž ložiska ani mostní závěry.

### **5.8.1. Izolace**

Mostovka je uvažována jako přímo pochozí a její povrch tvoří strukturovaný beton bez dalších vrstev či úprav. Minimální součinitel tření upraveného betonu je, vzhledem k podélnému sklonu a bezbariérovému užívání stavby, stanoven hodnotou 0,58.

### **5.8.2. Odvodnění**

Povrchové odvodnění lávky je řešeno podélným sklonem nivelety ve spádu 0,0 - 8,0 % a příčným sklonem mostovky 2,0 %. Odvodnění komory je zajištěno výtokovým potrubím o průměru  $\phi$  60 mm, umístěným v nejnižším místě komory.

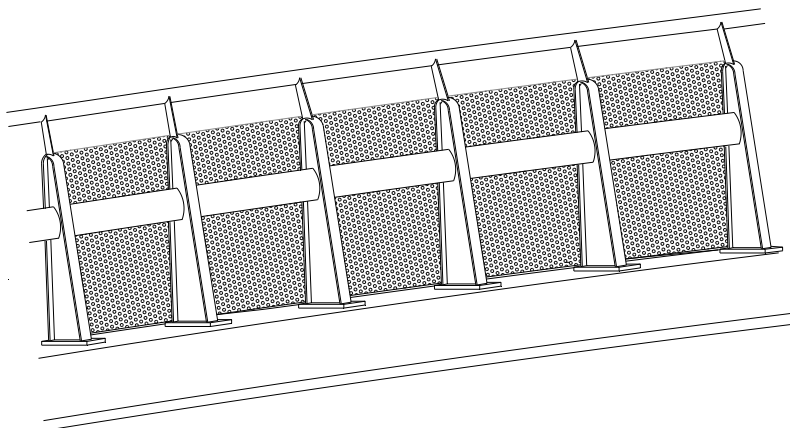
### **5.8.3. Záchytný systém**

Lávka a opěra jsou doplněny o ocelové zábradlí s povrchovou úpravou pozinkováním. Výška zábradlí nad přilehlým povrchem je 1,3 m. Tato výška odpovídá požadavku pro cyklistický provoz na lávce.

Vnější zábradlí na mostovce a zábradlí na opěře je tvořeno ocelovým madlem kruhového tvaru a ocelovými stojkami tvořenými dvěma zaoblenými plechy spojenými v patě kotevním plechem. Kotevní plechy je dodatečně připojen k mostovce pomocí čtveřice šroubů M10 do chemické malty. Výplň zábradlí tvoří děrované plechy s otvory čtvercového tvaru. Tyto plechy jsou zaobleny ve stejném poloměru jako stojky. Osová vzdálenost stojek 2,0 m. Toto zábradlí bude žárově pozinkováno a na stavbě dodatečně smontováno.



Vnitřní zábradlí je součástí nosného systému a je tvořeno robustními ocelovými sloupky, ke kterým jsou přivařeny ocelové trubky tvořící kabel předpětí. Nad sloupky je vytaženo ocelové madlo kruhového tvaru. Sloupky jsou navrženy po vzdálenosti 1,0 m a jsou tvořeny úzkým komorovým průřezem z plechů tloušťky 22 mm. Sloupky jsou osazeny již během betonáže a jejich kotevní sloupky (4 přivařené úhelníky L70x7 s patním plíškem P10-90x90 mm) jsou provázána s betonářskou výztuží mostovky. Přesný tvar i posudek těchto stojek je součástí statického výpočtu. Vnitřní strana kabelového zábradlí je také doplněna o výplň z děrovaného plechu. Madlo zábradlí včetně krátké stojky budou pozinkovány a na místě přišroubovány nosné části zábradlí. Sloupek zábradlí a ocelový kabel budou opatřeny dvojitým protikorozním nátěrem.



Obr. 27 *Axonometrický pohled na vnitřní zábradlí s externím kabelem*

#### **5.8.4. Osvětlení lávky**

Osvětlení lávky bude provedeno pomocí skupiny LED svítidel umístěných pod madlem vnitřního zábradlí. Tyto svítidla budou osvětlovat celou průchozí šířku lávky. U opěry budou umístěna dvě halogenová svítidla, která osvětlí sběrný prostor před lávkou.

## **6. POSTUP VÝSTAVBY**

Lávka je tvořena dvěma obloukovými symetrickými mostovkami, s relativně malým vzepětím, vetknutými do opěr. Nejvhodnějším způsobem výstavby pro takovouto konstrukci je betonáž na pevné skruži. Výhodou tohoto postupu je nenáročnost na staveništní prostor a montážní techniku. Nevýhodou může být dočasné omezení splavnosti daného úseku řeky. Tento problém se však dá vyřešit vhodným návrhem podpůrné konstrukce bednění.

Samotný postup výstavby spočívá v zaměření stavby, jejího vytyčení, provedení výkopových prací v místě opěr a zajištění břehu proti zaplavení základové spáry. K tomu účelu je vhodné použít dočasné pažení z profilů Larsen, vytažených alespoň do výšky pětileté vody. Po odkrytí základové spáry proběhnou vývrty velkopřůměrových CFA pilot, uložení výztuže (s přesahem pro spojení s opěrou) a jejich betonáž.

Dalším krokem je vybednění opěr a sestavení pevné skruže pro bednění mostovky. Následuje uložení výztuže, včetně navázání na výztuž pilot, rozmístění kotev do sklípků a uložení kabelů dodatečného předpětí. Během tvorby bednění komory se vytvoří kotevní bloky v mostovce a osadí se kotvy včetně přepínacího lana, které se zajistí proti uvolnění. Bednění vnitřku komory bude poté uzavřeno záklopem tvořícím bednění horní desky. Vydřeva a bednění uvnitř komory zůstane součástí konstrukce. V části, kde má komora malou výšku, bude tvar komory vytvářet ztracené bednění z vyprofilovaných desek z extrudovaného polystyrenu. Součástí vyztužení horního žebra na vnitřním okraji oblouku je i zakotvení stojek nosného zábradlí. Betonáž opěr bude prováděna ve více krocích s ohledem na jejich rozměr. Přesný postup betonáže stanoví technolog. Hutnění bude provedeno ponornými vibrátory  $\phi$  50 mm.

Předpínání konstrukce bude zahájeno 28 dní od betonáže. Spojité kabely jsou předepnuty z obou stran, nespojitě kabely pouze ze strany od piloty. Kanálky jsou po předepnutí zainjektovány a sklípky zabetonovány. Postup předpínání je popsán ve výkresové dokumentaci, v příloze *P2.08 – Výkres předpínací výztuže*.

## **7. ZÁVĚR**

Úkolem této práce byl návrh přemostění řeky Labe v Hradci Králové za účelem převedení cyklistické a pěší dopravy mezi břehy. Toto bylo navrženo ve třech variantách provedení. Z variant byla vybrána jedna, která byla dále rozpracována.

Všechny části navržené konstrukce vyhověly na mezní stavy použitelnosti i mezní stavy únosnosti. Posudek betonových konstrukcí byl proveden podle normy ČSN EN 1992. Posouzení nosného zábradlí proveden dle ČSN EN 1993. Návrh založení stavby, spočívající v posouzení únosnosti navržených pilot, proveden dle normy ČSN EN 1997.

Výstupem tohoto projektu je návrh variant přemostění a dále statický posudek, výkresová dokumentace a vizualizace jedné vybrané varianty.

## **8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATUTRY**

- [1] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Český normalizační institut, 2004. 44s.
- [2] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou, Český normalizační institut, 2005. 152s.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, 2006. 210s.
- [4] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady, Český normalizační institut, 2007. 90s.
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, 2006. 96s.
- [6] ČSN EN 1997-1Eurokód7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla, Český normalizační institut,2006. 138s
- [7] Navrátil J. Předpjaté betonové konstrukce. 2. Vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADETELSTVÍ CERM, 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7
- [8] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů, Český normalizační institut, 1995. 60s

## **9. SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE**

Autodesk AutoCAD 2011

ANSYS 12.1

Scia Engineer 2013.1

Idea RS StatiCa 5

Rhinoceros5

Artlantis 4

Microsoft Office Excel 2007

Microsoft Office Word 2007

## **10. SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1</i>	<i>Lokalita stavby</i>
<i>Obr. 2</i>	<i>Situování stavby</i>
<i>Obr. 3</i>	<i>Geologické poměry v okolí stavby</i>
<i>Obr. 4</i>	<i>Ukázka použitých distančních - Druha</i>
<i>Obr. 5</i>	<i>Statické působení konstrukce</i>
<i>Obr. 6</i>	<i>Půdorysné rozměry lávky</i>
<i>Obr. 7</i>	<i>Rozvinutý řez polovinou ramene lávky</i>
<i>Obr. 8</i>	<i>Tvary příčných řezů</i>
<i>Obr. 9</i>	<i>Tvar opěry a rozmístění pilot</i>
<i>Obr. 10</i>	<i>Rozmístění užitečného zatížení na lávce</i>
<i>Obr. 11</i>	<i>Normálové napětí na mostovce při lineárním výpočtu</i>
<i>Obr. 12</i>	<i>Normálové napětí na mostovce při nelineárním výpočtu</i>
<i>Obr. 13</i>	<i>Axonometrie konečného prutového modelu v programu ANSYS 12.1</i>
<i>Obr. 14</i>	<i>Model včetně přiřazených průřezů</i>
<i>Obr. 15</i>	<i>Deformace modelu při účincích vlastní tíhy a předpětí</i>
<i>Obr. 16</i>	<i>Průběh svislého ohybového momentu <math>M_y</math> od vlastní tíhy a předpětí</i>
<i>Obr. 17</i>	<i>Průběh vodorovného ohybového momentu <math>M_z</math> od vlastní tíhy a předpětí</i>
<i>Obr. 18</i>	<i>Průběh torzního momentu <math>M_x</math> od vlastní tíhy a předpětí</i>
<i>Obr. 19</i>	<i>Průběh normálové síly <math>N</math> od vlastní tíhy a předpětí</i>
<i>Obr. 20</i>	<i>Model příčného řezu v programu SciaEngineer 2013.1 včetně průřezů</i>
<i>Obr. 21</i>	<i>Kotva řady C pro vnitřní předpětí se soudržností</i>
<i>Obr. 22</i>	<i>První vlastní tvar konstrukce</i>
<i>Obr. 23</i>	<i>Druhý vlastní tvar konstrukce</i>
<i>Obr. 24</i>	<i>Třetí vlastní tvar konstrukce</i>
<i>Obr. 25</i>	<i>Čtvrtý vlastní tvar konstrukce</i>
<i>Obr. 26</i>	<i>Odezva konstrukce na buzení umístěné v polovině rozpětí</i>
<i>Obr. 27</i>	<i>Axonometrický pohled na vnitřní zábradlí s externím kabelem</i>

## **11. SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1</i>	<i>Celkové vyztužení mostovky po průřezech</i>
<i>Tab. 2</i>	<i>Posouzení únosnosti v prostorovém mimostředním tlaku</i>
<i>Tab. 3</i>	<i>Posouzení únosnosti při interakci smyku a kroucení</i>
<i>Tab. 4</i>	<i>Posouzení únosnosti při interakci podélného smyku a příčného ohybu</i>
<i>Tab. 5</i>	<i>Posouzení únosnosti stojky zábradlí</i>
<i>Tab. 6</i>	<i>Posouzení napětí v betonu</i>
<i>Tab. 7</i>	<i>Souhrn vlastních tvarů konstrukce</i>
<i>Tab. 8</i>	<i>Vyhodnocení dynamiky na základě vlastní frekvence</i>

## **12. SEZNAM PŘÍLOH**

### **P1 Použité podklady a varianty řešení**

<i>P1-01</i>	<i>Varianta A</i>
<i>P1-02</i>	<i>Varianta B</i>
<i>P1-03</i>	<i>Varianta C</i>
<i>P1-04</i>	<i>Použité podklady</i>

### **P2 Výkresová dokumentace**

<i>P2-01</i>	<i>Dopravní řešení lávky</i>
<i>P2-02</i>	<i>Situace</i>
<i>P2-03</i>	<i>Podélný řez A - A</i>
<i>P2-04</i>	<i>Rozvinutý podélný řez B - B</i>
<i>P2-05</i>	<i>Příčný řez C - C</i>
<i>P2-06</i>	<i>Příčné řezy mostovkou</i>
<i>P2-07</i>	<i>Detail nosného zábradlí</i>
<i>P2-08</i>	<i>Výkres předpínací výztuže</i>
<i>P2-09</i>	<i>Výkres betonářské výztuže</i>

### **P3 Vizualizace lávky**

### **P4 Statický výpočet**

<i>P4-01</i>	<i>Statický výpočet</i>
<i>P4-02</i>	<i>Vnitřní síly pro statický výpočet</i>